ALTA FIDELIDAD:
Sintonizadores AM-FM estéreo



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ORBIS
marcombo

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ALTA FIDELIDAD:
Sintonizadores AM-FM estéreo

ORBIS
marcombo

Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

Apartado de Correos 35432, Barcelona

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-552-6 (Vol. 10)
D. L.: B. 7870-1986

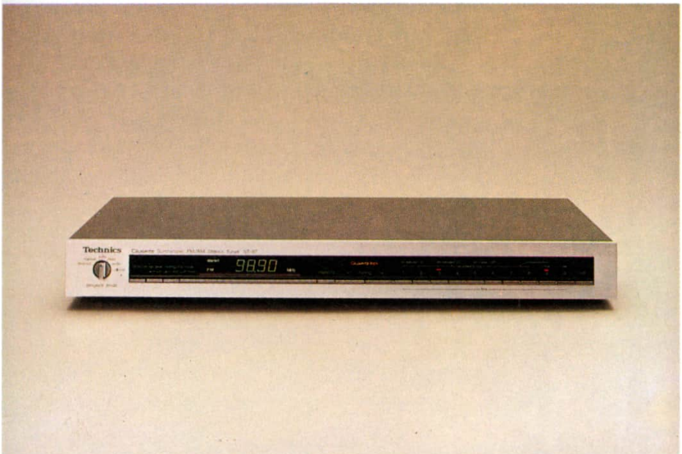
Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa   Provenza, 388   08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts   1986

Printed in Spain

Sintonizadores AM/FM estéreo

INTRODUCCION

La gran inquietud de la raza humana por conocer los fenómenos que la rodean y mejorar su entorno es, sin duda, un importante impulsor y catalizador para la moderna revolución tecnológica. No es extraño, pues, que en la década de 1830 Morse pusiera en práctica la comunicación telegráfica. No fue hasta 1876 que Bell construyó el primer



El sintonizador es en nuestros días un elemento indispensable para el radioaficionado y para el audiófilo, gracias a los elevados índices de calidad conseguidos.

teléfono. Pero tanto, el telégrafo como el teléfono, necesitaban un cable que uniera los aparatos y esto no era suficiente para una comunicación a larga distancia. Así, en 1888, el físico Hertz, siguiendo la intuición de su colega Maxwell, demostraba la existencia real de las ondas electromagnéticas que desde entonces llevan su nombre, abriendo así una nueva era para los medios de comunicación. Finalmente, en 1897, Marconi realiza la primera comunicación de la llamada

telegrafía sin hilos. Fue cuestión de unos pocos años conseguir la comunicación hablada gracias a las ondas. Había nacido la radiotelefonía.

Posteriormente a estos descubrimientos se supo que las ondas de radio eran de la misma naturaleza que la luz visible, rayos ultravioleta o infrarrojos y otro tipo de radiaciones conocidas (rayos X, ondas radar, etc.). Todas se incluyen en el grupo de ondas llamadas *electromagnéticas.* Estas ondas presentan dos ventajas sobre las ondas sonoras en lo que a transmisión se refiere: primeramente no necesitan ningún soporte físico para trasladarse (se propagan por el vacío contrariamente a las ondas sonoras que necesitan de la atmósfera) y, en segundo lugar, su velocidad de propagación es casi un millón de veces superior a la del sonido.

El sintonizador es el elemento destinado a la recepción de una emisión radiada en alta frecuencia y a la posterior transformación de ésta en señales eléctricas de baja frecuencia. Su utilización, junto a la cadena de Alta Fidelidad, se ve hoy día ampliamente difundida entre los audio-aficionados. Por ello en este libro, en primer lugar nos dedicaremos a repasar los distintos sistemas de modulación, para luego pasar a la descripción de los receptores utilizados comúnmente y de su funcionamiento. En último lugar veremos qué requisitos mínimos deben cumplir los diferentes tipos o clases de receptores.

LA MODULACION

Cuando hablamos se dice que «modulamos» la voz. Lo único que hacemos es modificar una corriente de aire que sale por nuestra garganta para que se escuche convenientemente.

Podemos llamar portadora a esta corriente de aire, pues es la que llevará la modulación que le imprimamos con la boca y la lengua. La portadora por sí sola no es sonido, no transporta información. Estamos tan acostumbrados a hacerlo a diario que no pensamos que este proceso es muy similar a lo que se hace en una emisión de radio. En una emisora se crea una onda portadora que se lleva a un modulador para que le imprima la información deseada (moduladora) y que se materializa, finalmente, en la onda modulada.

El lector debe conocer que los dos parámetros más importantes de una onda de radio son su *amplitud* y su *frecuencia*. Olvidaremos la fase, porque la modulación de este parámetro no es el propósito de esta lección. La amplitud da una idea del valor máximo que adoptará la onda mientras que la frecuencia indica los ciclos completos que se repiten en cada segundo. Las ondas electromagnéticas tienen la misma forma que las sonoras y la única diferencia, aparte de su distinta naturaleza, está en la frecuencia. Las ondas sonoras difícilmente superan los 20 kHz mientras que las electromagnéticas alcanzan el campo de las microondas (más de 10 GHz).

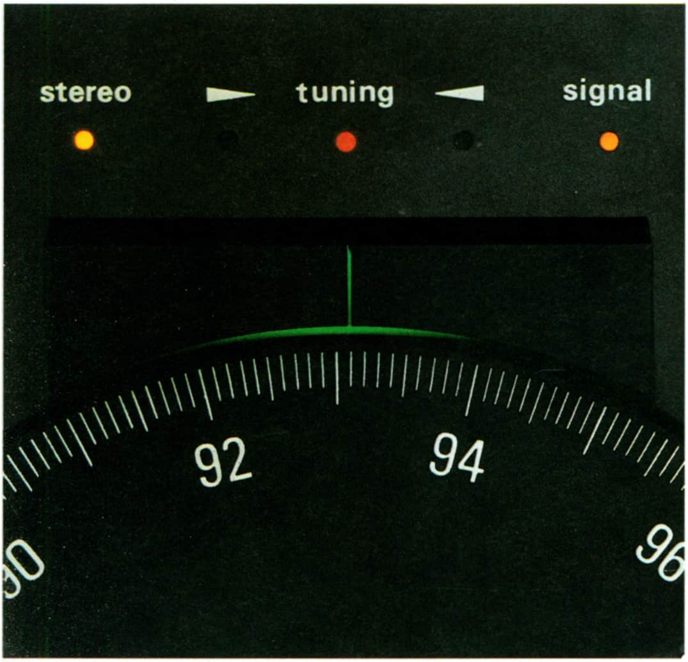


Figura 2. La radiotelefonía y radiodifusión en general, se basan en la emisión de ondas moduladas que se recogen sintonizando sus frecuencias de emisión. Hay muchas formas de «diales» de sintonía.

Sabiendo cuáles son los parámetros es lógico pensar que se pueden modular las ondas según estas dos característi-cas. El ejemplo más sencillo es el de la transmisión radiotelegráfica mediante el código Morse. Se trata de dar

amplitud máxima a la onda cuando se transmite punto o raya y amplitud nula entre esta información. En este caso se modula en amplitud (AM), pero al igual que hemos introducido la información en la portadora modificando la amplitud podemos hacerlo también variando la frecuencia. Así, si nuestra portadora tuviera una frecuencia de 1 MHz, cuando quisiéramos transmitir un punto o una raya podría-

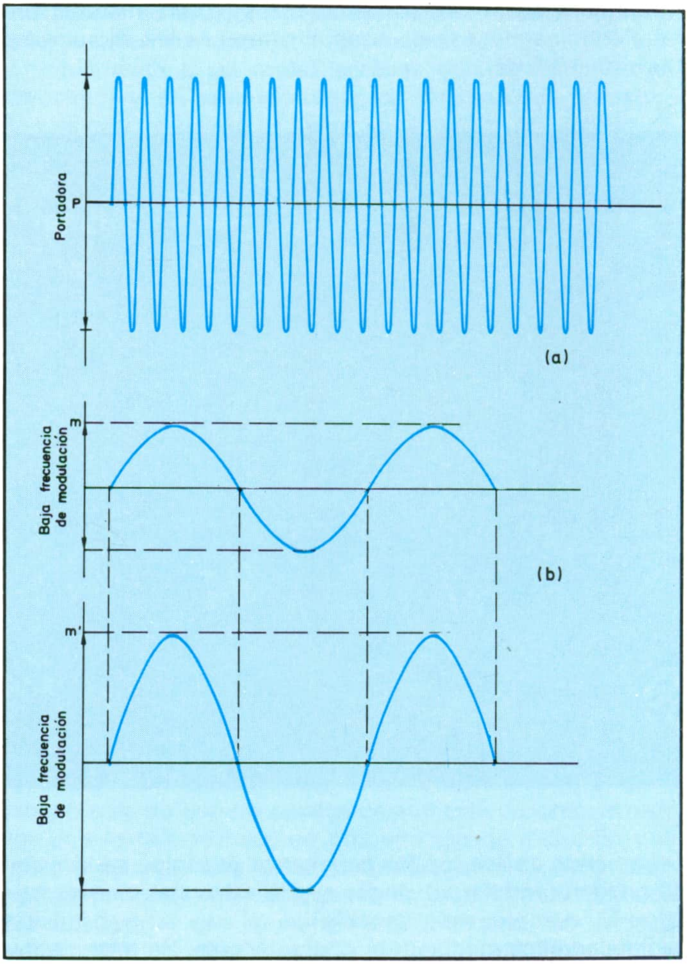


Figura 3. Los dos componentes para modular en amplitud son: a) señal senoidal de alta frecuencia o portadora de amplitud constante; b) señal de baja frecuencia con amplitud m. En la parte inferior, la señal moduladora m' provoca una mayor profundidad de modulación.

mos cambiar la frecuencia a 1.010 kHz. Esto será una modulación en frecuencia (FM).

En general se puede modular cualquier señal de emisión tanto en amplitud como en frecuencia, pero se han adoptado internacionalmente unas normas de modulación en función de la frecuencia.

Las bandas dedicadas a AM están divididas en tres grandes grupos: de 150 a 300 kHz (OL, LW, onda larga), de 525 a 1.650 kHz (OM, MW, onda media o normal) y desde 5 a 30 MHz (OC, SW, onda corta) repartidas en varias subdivisiones.



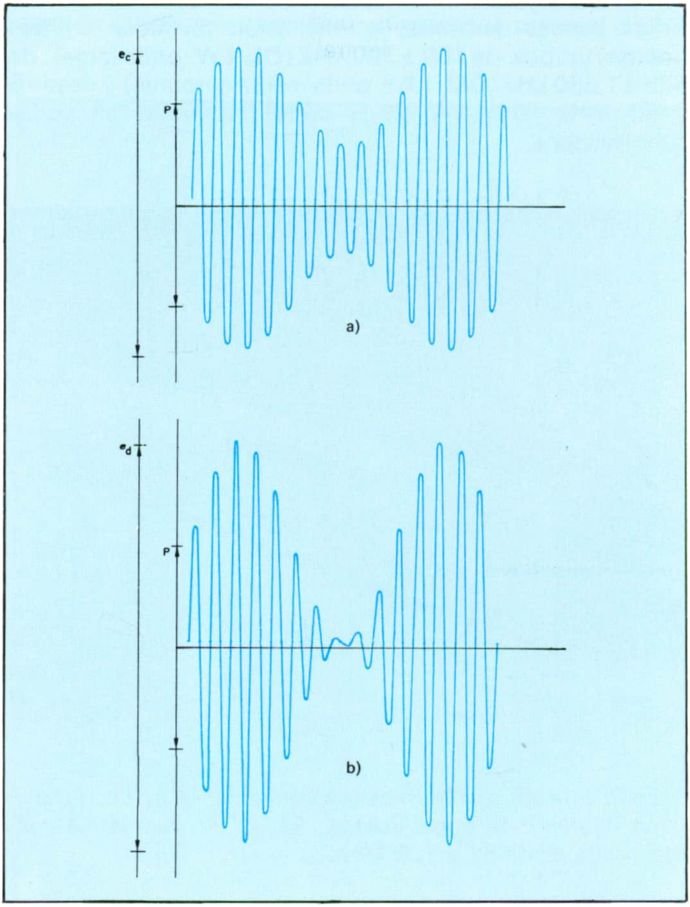
Figura 4. Los receptores y sintonizadores actuales disponen de sistemas receptores adecuados a los dos tipos de modulación: FM y AM. Realmente sólo podemos hablar de Alta Fidelidad en la modalidad de modulación de frecuencia.

En la emisión de FM la banda comercial es única, aunque varía ligeramente entre Europa, EE.UU. y Japón. La más extendida es de 87 a 108 MHz.

Modulación de amplitud (AM)

La modulación de amplitud (AM) consiste en variar instantáneamente la amplitud de la portadora con una profundidad proporcional a la intensidad de la señal moduladora (figura 3).

El índice de modulación es la relación de amplitudes entre la portadora y la moduladora. Esta relación no es constante sino que varía por ser función de la amplitud de la moduladora. El íncide de modulación, en su expresión

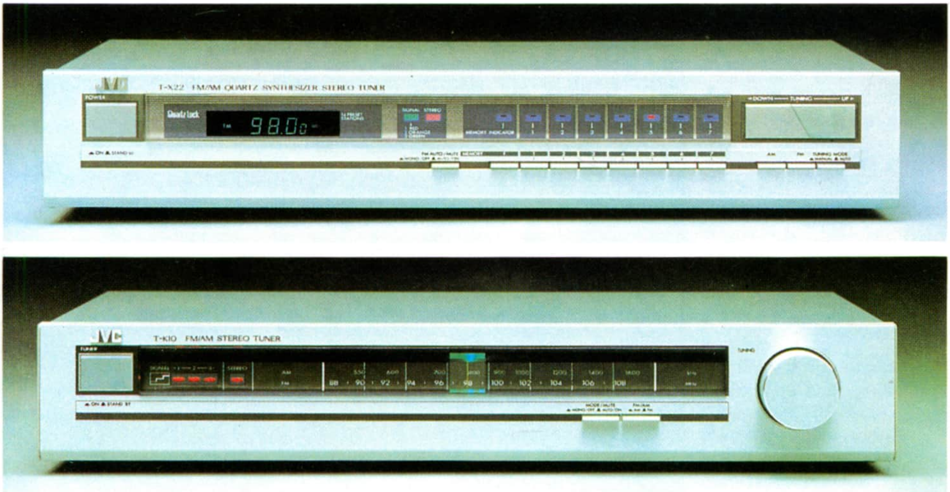


a) Portadora modulada con un índice de 50 %; b) portadora modulada al 100 %. En el segundo caso se observa la diferencia de amplitud instantánea de la envolvente «e» con el consiguiente aumento de potencia instantánea de emisión.

matemática, se define como la diferencia de amplitudes entre la señal modulada y la portadora, dividido por su suma y multiplicado por 100 (el resultado se da en tanto por ciento).

El riesgo que se corre al trabajar con elevadas modulaciones es la sobremodulación, porque al sobrepasar el índice del 100 % perdemos parte de información, además del considerable aumento de la distorsión (figura 7).

Con este tipo de modulación, variando sólo la amplitud y por efecto de la adición de dos señales de frecuencia distinta, se producen dos bandas laterales simétricas respecto a la frecuencia central, e iguales a la suma y diferencia instantáneas de las frecuencias de portadora y moduladora. Al variar el índice de modulación cambia la



curva del espectro de frecuencias. Así, si modulamos con un índice de, por ejemplo, 20 % y 1.000 Hz aparecen dos bandas laterales separadas 1 kHz respecto de la frecuencia fundamental de emisión. Si hay sobremodulación aparecen los armónicos de 1.000 Hz modulando en sucesivas dobles bandas laterales separadas de la frecuencia central según la frecuencia de los armónicos (figura 8).

Dos sintonizadores estereofónicos de JVC. El modelo de la parte superior incluye un sintetizador de cuarzo. La sintonía del modelo TX 22 puede ser automática o manual.

Como es fácilmente comprensible, y esto es muy importante, el ancho de banda ocupado en una transmisión en AM depende directamente del ancho de banda que ocupa la señal de audio a transmitir y no de su amplitud. Además, el ancho de banda total ocupado por la onda modulada que se

transmite es el doble del que tiene la señal de baja frecuencia.

Una emisión de radio en AM utilizará una cierta potencia para transmitir. Puesto que la amplitud media de la portadora es siempre la misma, su potencia de emisión será constante. Pero la potencia utilizada en las bandas laterales dependerá

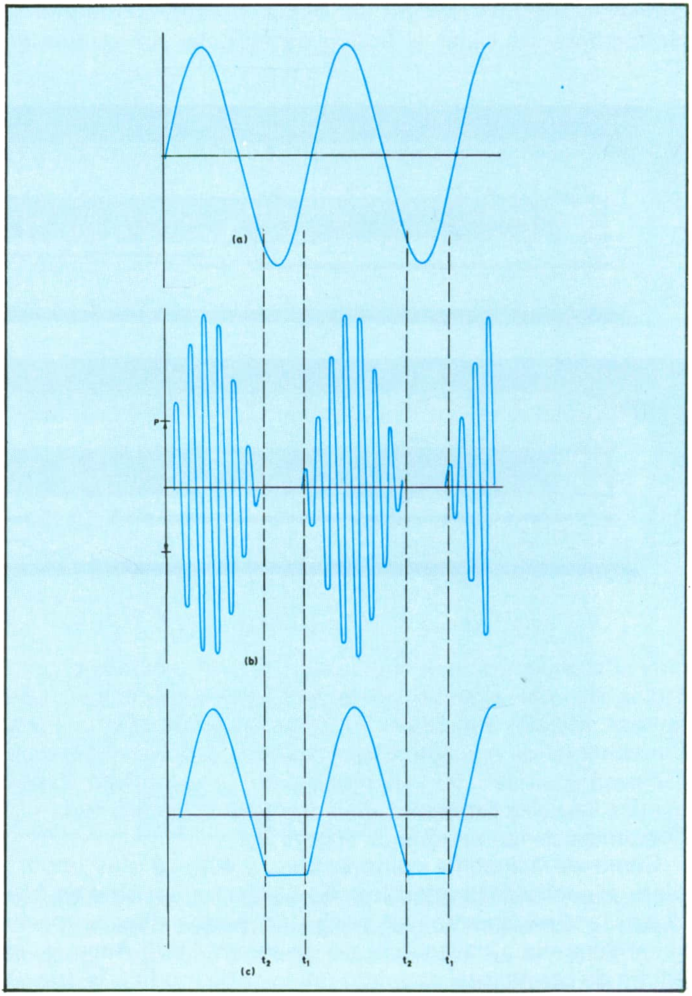


Figura 7. a) Señal de baja frecuencia, que en b) está modulada en más de 100 %, y en c) se observa la señal obtenida después de la detección. Obsérvese la falta de información entre t_2 y t_1 además del gran incremento de la distorsión.

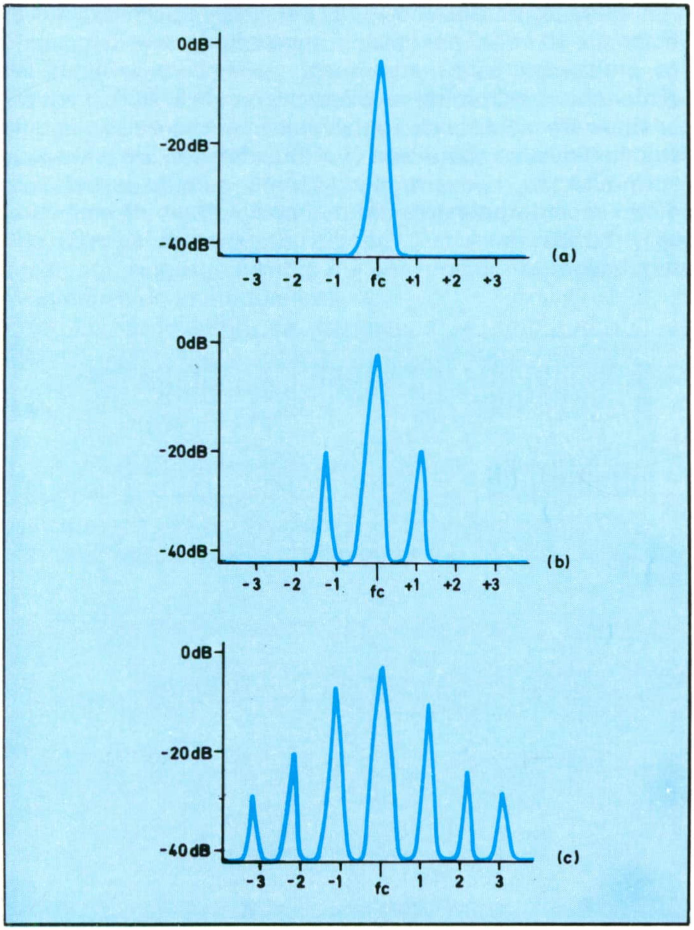


Figura 8. a) Señal sin modular en AM de una frecuencia única; b) Señal modulada al 20 % con 1 kHz. Aparecen dos bandas laterales a 1 kHz de frecuencia «f_c» de la portadora y una amplitud inferior en −20 dB respecto de la fundamental; c) Señal modulada con 1 kHz pero con un índice superior al 100 %. El efecto de sobremodular da lugar a la aparición de nuevas frecuencias armónicas de 1 kHz (señal moduladora de baja frecuencia) a ambos lados de la fundamental, y de amplitud decreciente.

del índice de modulación. En el mejor de los casos (modulando al 100 %) la potencia empleada para las dos bandas representa sólo el 50 % de la portadora. Para conseguir un mayor rendimiento del proceso de transmisión se suprime a veces la portadora, emitiéndose únicamente las dos bandas laterales. Es lo que se llama modulación en doble banda lateral (DBL). Incluso puede suprimirse una de estas bandas, con lo que se da paso a la modulación en banda lateral única (BLU).

En general, se puede modular en AM hasta cualquier frecuencia 10 veces por debajo de la portadora sin demasiados problemas; para las emisoras comerciales se limita la frecuencia máxima de modulación a 4,5 kHz y, por consiguiente, a 9 kHz por emisora. Este ancho de banda tan estrecho limita su aplicación en Alta Fidelidad. Sin embargo esta limitación, como luego veremos, está impuesta por común acuerdo para permitir un mayor número de emisoras en la banda de AM y no es intrínseca al sistema de modulación.

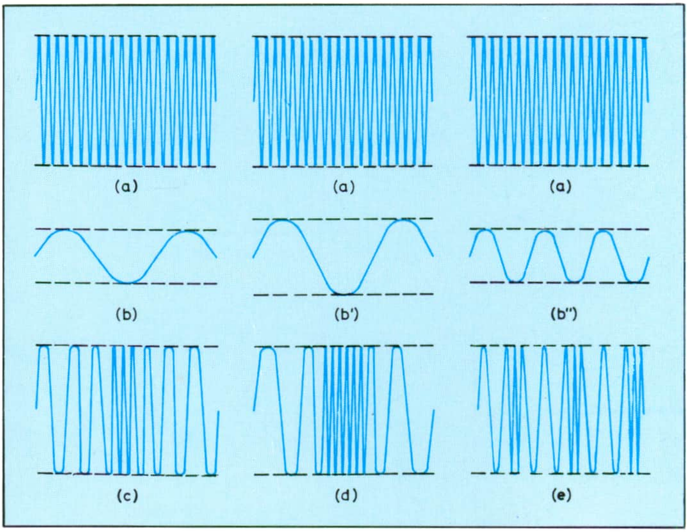


Figura 9. a) Portadora senoidal de alta frecuencia; b) Señal moduladora en baja; c) Portadora modulada en frecuencia; d) Modulación con una señal de mayor amplitud como b' que provoca una profundidad de modulación mayor; e) Modulación con una señal de mayor frecuencia como b'' que aumenta el número de veces que se repite la modulación o de otro modo, se incrementa su velocidad de modulación.

El gran inconveniente que presenta «a priori» este tipo de modulación es la facilidad con que se interfieren estas emisiones durante su recepción, debido a fenómenos atmosféricos o de otra índole (electricidad electrostática, ruido de motores, etc.).

Modulación de frecuencia (FM)

De forma similar al caso anterior, en el que variábamos la amplitud de la portadora al ritmo de la señal moduladora, también podemos hacer que la frecuencia de ésta cambie

según la señal que queramos transmitir. Así se consigue una onda que lleva impresa la información en forma de variación de frecuencia, esto es, tendremos una modulación en frecuencia. Esta variación se define como profundidad de modulación y la velocidad con la que se produce dicha variación es directamente proporcional a la frecuencia moduladora (figura 9). El valor máximo de esta profundidad de modulación se ha estandarizado en ± 75 kHz. Como en el caso anterior esta variación no es constante, sino que cambia por ser función de la amplitud instantánea de la moduladora.

En la modulación de frecuencia la amplitud de la portadora permanece constante sea cual fuere la frecuencia y amplitud de la señal moduladora.

En este tipo de modulación las bandas laterales aparecen como múltiplos enteros de la frecuencia moduladora y se sitúan a ambos lados de la portadora. Su número depende del índice de modulación, que en este caso se define como el cociente entre la desviación de la frecuencia central de la portadora y la frecuencia de modulación (figura 11).



El primer doble circuito de cuarzo de corriente continua del mundo se incorporó a estos modelos. Incluye la conmutación lineal MPX para una distorsión más baja. Selecciona automáticamente el filtro con el ancho de banda más adecuado según las condiciones de recepción de cada emisora.

De forma similar a lo que ocurre con la señal modulada en amplitud, la que se modula en frecuencia también puede descomponerse en varias componentes. Del estudio de la señal modulada (que es la que se transmite) resulta que, en teoría, se producen un número infinito de componentes

laterales. El ancho de banda es, por consiguiente, infinito, contrariamente a lo que ocurría con AM, en la que eran sólo dos bandas de un ancho determinado.

Sin embargo, un estudio más detallado de las componentes nos permite ver que en la práctica su amplitud decrece rápidamente según se alejan de la frecuencia de la portadora. Tomando un número relativamente pequeño de las mismas, puede recuperarse suficiente información como para regenerar la señal con un determinado grado de fidelidad. Cuanto mayor número de componentes laterales se tomen mejor calidad de reproducción obtendremos y mayor ancho de banda se necesitará.

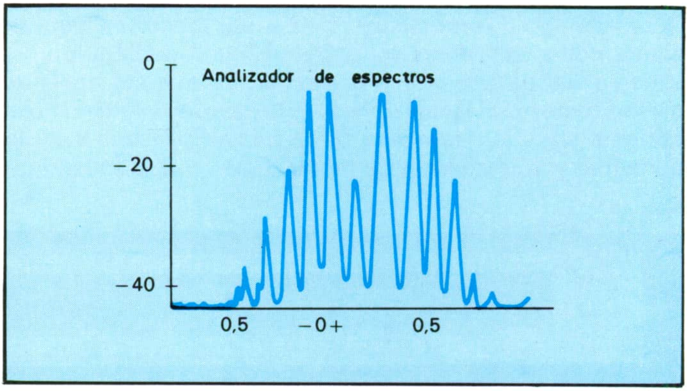


Figura 11. Espectro de una onda de FM con una señal moduladora de 1 kHz. Obsérvese el gran número de bandas laterales.

Analizando el compromiso entre ancho de banda, o lo que es lo mismo, número de canales que se permiten en una banda determinada y calidad sonora, se deduce que con una desviación típica de ±75 kHz es preciso un ancho de banda de 255 kHz para conseguir una buena reproducción de la señal original (que llega hasta 15 kHz). Pero con 185 kHz no se puede apreciar prácticamente distorsión alguna.

Estos hechos dieron lugar a las separaciones normalizadas entre canales de 200 kHz en EE.UU. y 300 kHz en Europa. La difusión de la estereofonía en FM alteró algo la normativa: en Europa se puede mantener la separación, pero en EE.UU. se alternan los canales, con lo que el ancho de separación pasa a ser de 400 kHz.

En FM no ocurre como en AM, en que la mayor parte de la

potencia transmitida se utilizaba para la portadora sin conducir información útil. Ahora la potencia que se gasta en la emisión se distribuye por toda la banda entre todas las componentes, de forma que sólo en el caso de que no se module, toda la potencia se empleará en la portadora.



Amplificador estereofónico y sintonizador AM/FM con doble super servo. El gobierno del equipo está simplificado al máximo buscando la estética del conjunto. (Cortesía: Onkyo).

Con la normativa actual, propuesta por el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones), sólo la FM está en condiciones de emitir programas estereofónicos. Sólo en EE.UU. y Méjico se realizan emisiones experimentales de AM estereofónica.

RECEPCION Y ANTENAS

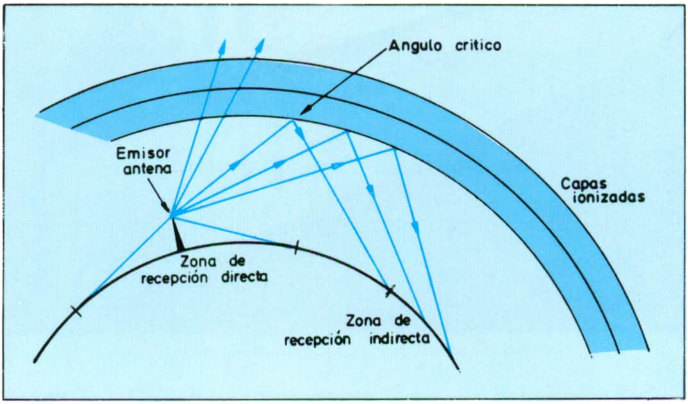
La propagación de las ondas

En una transmisión de radio las ondas pueden transmitirse de tres formas que suelen denominarse vía tierra, vía espacio y vía visual.

En principio las ondas radio se desplazan en línea recta, por lo que dos puntos quedan enlazados cuando están uno a la vista del otro. El término visual se debe entender respecto a las ondas de radio.

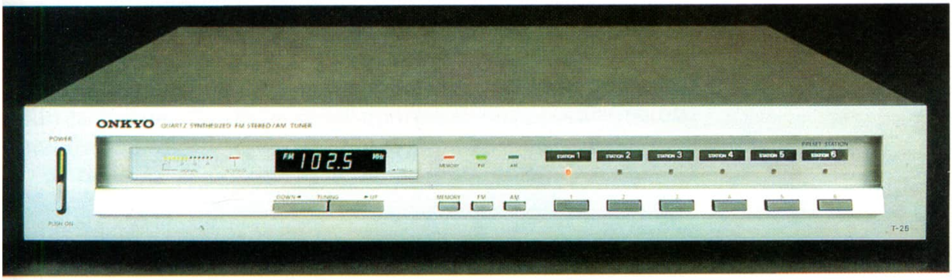
Por otro lado, también puede propagarse sobre la superficie de la tierra siguiendo su relieve. Esta es la denominada vía tierra, que se atenúa con la distancia debido a la frecuencia de transmisión así como a las características eléctricas de la superficie terrestre. El alcance práctico depende mucho de la frecuencia, de forma que disminuye conforme aumenta la frecuencia. Así, son las bandas de frecuencia más baja las que se benefician de esta forma de propagación. Las emisoras de OL se reciben con facilidad en todo el continente. Por encima de 1.600 kHz sólo se realizan comunicaciones locales (menos de 50 km de alcance).

Al incidir una emisión de ondas según un ángulo crítico, éstas se reflejan en las capas ionizadas y amplían la zona de recepción. Esta recepción indirecta adolece de unos devanecimientos alternos (fading), y es mejor durante la noche.



Finalmente, la señal de radio puede llegar al receptor viajando por el aire vía espacio. La atenuación es relativamente pequeña y, consecuentemente, el alcance puede ser elevado. Además, las capas de la ionosfera se comportan, en determinadas ocasiones, de forma que reflejan o no las ondas de espacio. Este proceso de reflexión en la ionosfera y en la tierra se puede repetir varias veces, consiguiéndose un elevadísimo alcance. En la banda de OM la onda vía espacio regresa a la tierra durante la noche, pero no durante el día. Además hay que contar con que las emisiones radiadas con una frecuencia superior a un cierto valor no se reflejan, sino que atraviesan la ionosfera y se pierden en el espacio. El valor de esta frecuencia crítica no es fijo, siendo mayor durante el día que durante la noche. Por esta razón las

emisoras que transmiten en las bandas de 16 a 31 m (de longitud de onda) se reciben mejor durante el día que durante la noche, mientras que en el resto de bandas de OC ocurre todo lo contrario.



Sintonizador estéreo AM/FM sintetizado a cuarzo. Este modelo incorpora la preselección de seis emisoras. (Cortesía: Onkyo)

En FM no podemos contar con la vía terrestre pues las altas frecuencias se atenúan enseguida. Por otra parte la onda vía espacio no se refleja en la ionosfera y escapa al exterior. La única forma de comunicación es la onda vía visual, con lo que el alcance es muy limitado. Superado un cierto valor de potencia de emisión, el alcance sólo depende de las alturas respectivas de las antenas de emisión y recepción.

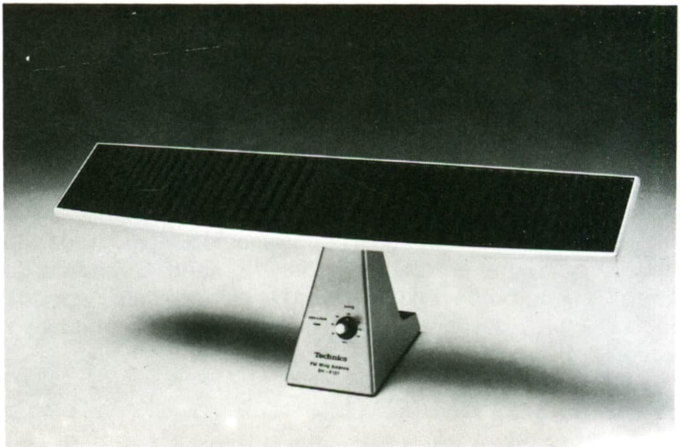
La recepción

La onda electromagnética que se propaga a través de cualquier medio (terrestre, visual o espacio) tiene que ser recogida para «ser traducida». No hay ningún problema si la recepción tiene lugar de forma directa o indirecta únicamente. Pero si recibimos la misma señal por varios trayectos o caminos distintos *(multipath)* se produce una interferencia que se traduce en un aumento de distorsión y de ruidos parásitos. Para evitar la recepción por trayectoria múltiple es preciso colocar una antena suficientemente sensible y direccional. Las ondas de radio son campos electromagnéticos que se forman alrededor de los conductores de alta frecuencia y se desplazan en todas direcciones a una velocidad aproximada a la de la luz.

Estos campos electromagnéticos presentan unas líneas de fuerza perpendiculares a la dirección del desplazamiento así

como perpendiculares entre sí. El plano que contiene las líneas de fuerza se denomina frente de onda. Si estas líneas son perpendiculares a tierra la polarización es vertical y la antena debe de ser horizontal. En caso de polarización horizontal la antena será vertical. El tipo de radiación circular se utiliza exclusivamente en satélites de comunicaciones.

Cuando el frente de onda incide perpendicularmente al plano de la antena, se induce una tensión que se transfiere al receptor en forma de tensión con la misma frecuencia que la de emisión.



Las antenas son imprescindibles para la correcta recepción. Vale la pena utilizar parte del presupuesto del sintonizador en la adquisición y colocación de la antena.

Las antenas

El eslabón más importante en la cadena de emisión y recepción es la antena, pues de ella depende la calidad de la transmisión. Realmente cualquier hilo conductor puede servir de antena y de hecho están realizando esta función continuamente; lo que sucede es que, debido a sus dimensiones, no suelen ser muy buenas antenas. Para que un conductor pueda considerarse como una antena, lo primero que se debe hacer es dimensionarlo adecuadamente para la señal con la que vaya a emplearse. Normalmente se tiene en cuenta su longitud de onda.

Recordemos que el cociente entre la velocidad de

propagación de una onda (la de la luz) y su frecuencia nos da como resultado su longitud de onda.

Según se relacione la longitud física de una antena con la longitud de onda de la señal de radio a recibir nos encontraremos con dos grupos de antenas: las periódicas y las aperiódicas.

Las antenas periódicas tienen una longitud comparable a la longitud de onda que han de emitir o recibir, o a un submúltiplo entero de ésta. Esto permite a la antena resonar con la frecuencia de la señal que trata, multiplicándose su efectividad.

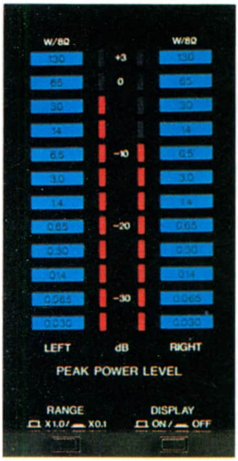
El tamaño físico de las antenas aperiódicas no guarda relación alguna con la longitud de onda de las señales que capta y, por lo general, son de un tamaño mucho más reducido que ésta.

Observemos la interesante propiedad de las antenas que les permite comportarse de forma idéntica, tanto en recepción como en emisión. Esto indica que todo lo dicho para antenas de recepción es igualmente válido para las de emisión, aunque éstas son por lo general mucho más sofisticadas y de mejor calidad.

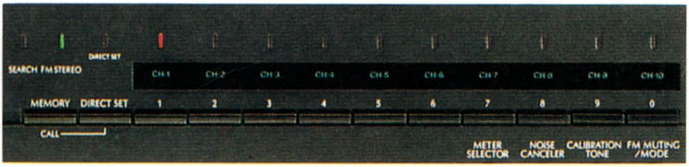
Antenas para la recepción de AM

En AM se han desarrollado un tipo de ferritas con gran

Los avances tecnológicos se suceden unos tras otro en todos los campos de la electrónica, una prueba de ello son los ecualizadores gráficos y los indicadores de pico que reflejan el nivel sonoro de la salida.

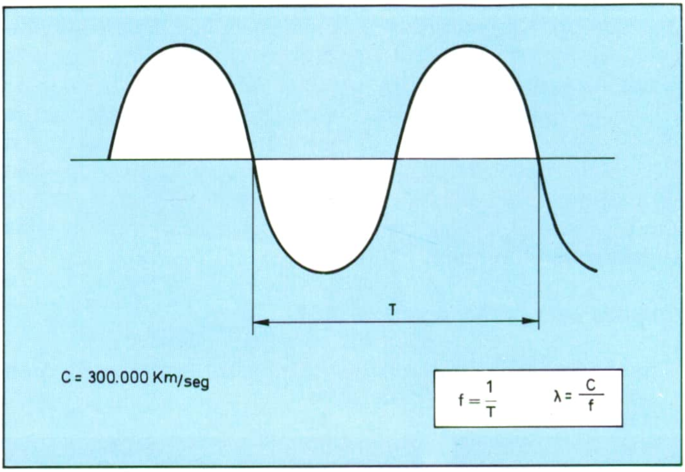






permeabilidad y directividad que se utilizan como núcleo de las bobinas de sintonía empleadas como antenas. La orientación es vital para seleccionar sin interferencias una emisora entre otras de mayor potencia.

Como vimos, el frente de onda incide en la antena. Si la emisión es perpendicular a la antena se recibe con la máxima señal, si es paralela a la ferrita su efecto es casi nulo. Esta propiedad de la ferrita permite sumar dos efectos: el de direccionabilidad y el de selección, propio del filtro sintonizado de entrada.



La longitud de onda es el cociente entre la velocidad de propagación (300.000 km/s) y su frecuencia.

Estas antenas se incorporan habitualmente en el interior del sintonizador. A veces también existen antenas exteriores al receptor, como un hilo exterior aislado y de longitud igual a un submúltiplo entero de la longitud de onda de la emisión. En este caso la selectividad será pobre debido a la longitud y la antena se orientará de forma perpendicular a la dirección de emisión.

Antenas para la recepción de FM

Mientras que para OM la antena exterior era fácilmente sustituible por una interior al propio equipo, para la FM se

hace imprescindible la utilización de una antena exterior. Puesto que en la banda de 87 a 108 MHz las longitudes de onda varían de 2,78 a 3,45 m, las antenas periódicas no van a ser excesivamente grandes.

El recolector de ondas más simple consiste en un dipolo, que consta de dos elementos conductores aislados eléctricamente entre sí y puestos uno a continuación del otro. Un dipolo que cubra toda la banda de FM puede tener una longitud aproximada de 1,47 m. El dipolo tiene unas características de directividad muy acusadas. La máxima sensibilidad se obtiene en la dirección perpendicular a la antena (en los dos sentidos), disminuyendo según el ángulo de incidencia de las ondas se acerca al eje longitudinal de la antena, en el que la recepción es nula.

Otro tipo de antena muy utilizado en las recepciones de FM es el dipolo doblado, plegado o antena trombón, constituido por un dipolo normal doblado por sus extremos (figura 18). En cualquier caso es preciso orientar el plano del dipolo perpendicularmente al emisor y colocarlo en posición paralela al suelo.

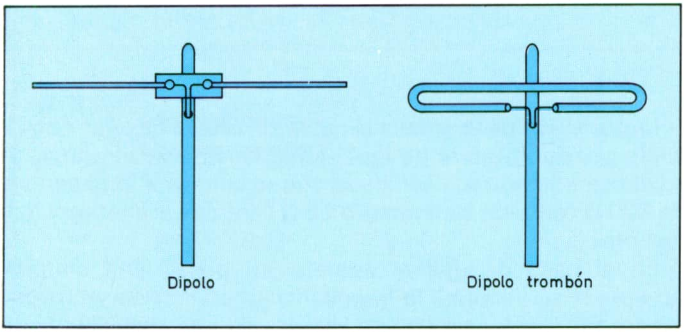


Figura 18. La antena trombón es un dipolo muy difundido como recolector de ondas.

La directividad es una característica muy importante en una antena y a veces puede ser interesante aumentar este parámetro. En un dipolo podemos aumentar el grado de directividad y la ganancia mediante los denominados elementos pasivos. Se llaman así para distinguirlos del dipolo o elemento activo, que es el que realmente recoge las radiaciones.

El elemento pasivo más utilizado es el llamado reflector, que consta de una varilla ligeramente más larga que el dipolo y dispuesta paralelamente a él a una distancia de un cuarto de longitud de onda (es decir, unos 0,78 m).

Otro elemento es el director, que es también rectilíneo y paralelo al dipolo, aunque algo más corto. Con estos dos elementos (figura 19) se puede mejorar la ganancia (hasta unos 8 dB) y la direccionalidad o directividad (en unos 16 dB).

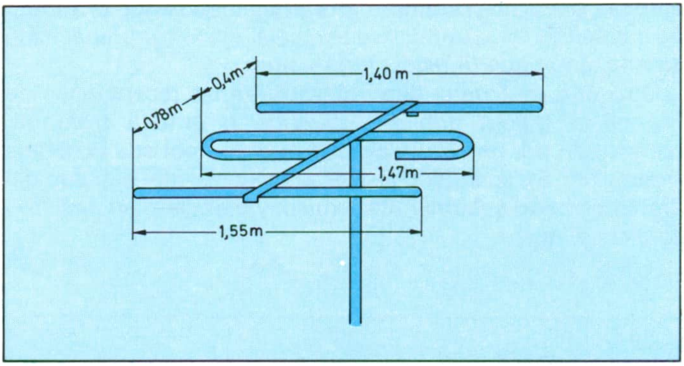


Figura 19. Este puede ser un ejemplo del correcto dimensionado de una antena con elementos pasivos.

La conexión de la antena al receptor deberá hacerse con el cable coaxial o bifilar de igual impedancia que la antena y sujetarse a la entrada señalada con esta misma impedancia de 300 Ω (entrada simétrica) o 75 Ω (entrada asimétrica) del receptor.

En el caso de que el aparato no posea una entrada apropiada se adaptará la impedancia mediante un transformador simétrico-asimétrico (*balum*), que es reversible.

Al orientar la antena debe tenerse en cuenta el tipo, es decir, si se trata de una direccional o una omnidireccional. El sistema más correcto sería conectar un analizador de espectros o un medidor de campo a la antena y recorrer toda la banda de FM. Para eliminar el efecto *multipath,* saturaciones, etc., se cambia la orientación de la antena girándola sobre su eje vertical. En la recepción de emisoras locales potentes es suficiente con un simple dipolo interior de 300 Ω (figura 20).

Como, por lo general, no disponemos de un analizador de espectros ni de un medidor de campo, utilizaremos el indicador de señal del propio sintonizador como nivel de referencia. Igualmente procedemos a barrer toda la banda de FM corrigiendo la posición de la antena para conseguir la recepción más perfecta, sin parásitos y equilibrada.

RECEPTORES Y SINTONIZADORES

En la actualidad se hace distinción entre estos dos

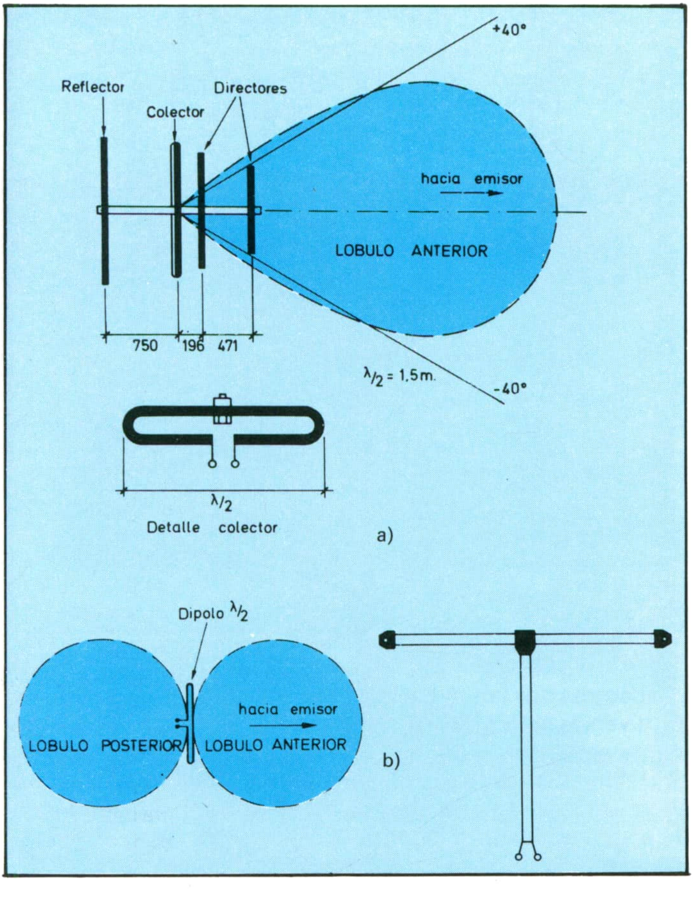
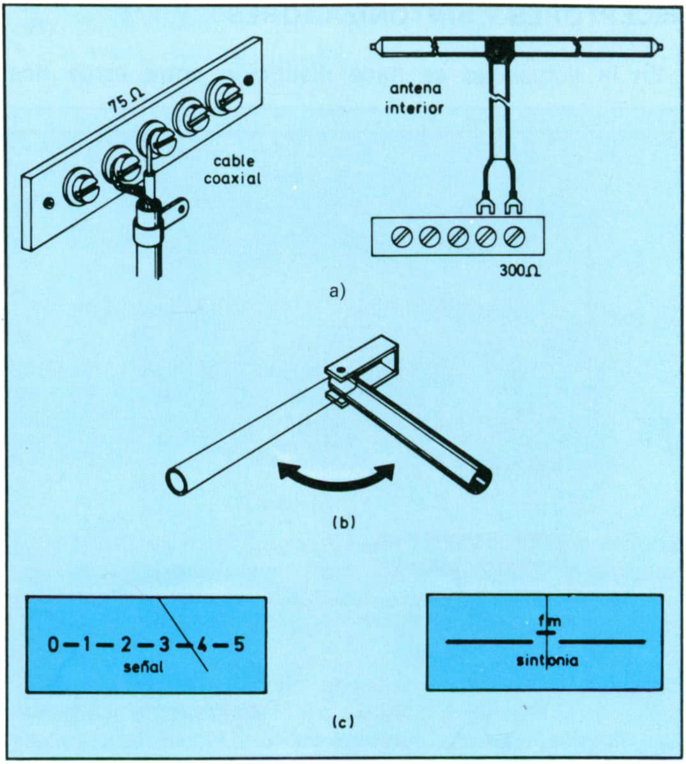


Figura 20. a) Antena exterior con directores, colector y reflector; b) Antena dipolo de 300 ohmios para uso en el interior de viviendas.

conceptos. El sintonizador (*tuner*) es un elemento que recoge la señal de alta frecuencia, la demodula y la convierte a frecuencia de audio. Aquí termina la función del sintonizador que entrega esta señal al amplificador exterior. El receptor (receiver), en cambio, dispone del amplificador integrado en el mismo aparato.



a) Conexión al receptor según la impedancia de la antena. Para 75 ohmios utilizar cable coaxial de igual impedancia y para 300 ohmios emplear cable bifilar paralelo; b) Antena orientable de ferrita para AM. Con la antena de ferrita incorporada al receptor es suficiente para tener una buena recepción, no obstante, en áreas de mucha interferencia o emisoras débiles puede orientarse para tener una recepción mejor; c) Indicadores de señal para medir la potencia recibida e indicador de sintonía.

Nosotros nos limitaremos a describir el funcionamiento de los diversos sintonizadores, aunque emplearemos indistintamente ambos términos.

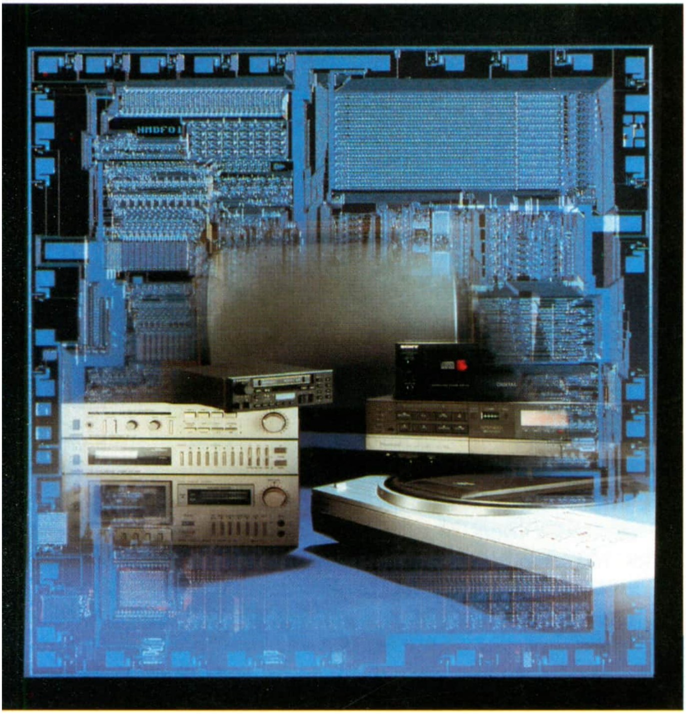
Muchos han sido los criterios de diseño utilizados en los sintonizadores (que en los primeros tiempos podían considerarse fuertemente ligados a una etapa amplificadora) desde el origen de la radio.

El más sencillo de todos consistía en una antena (no encontraremos ninguno sin ella), un circuito resonante sintonizado a la frecuencia deseada y un rectificador como detector.

La salida del detector se lleva al auricular que hace la función de altavoz. Su funcionamiento es tan simple que ni siquiera requiere alimentación exterior. Lógicamente su selectividad y sensibilidad son muy pobres y sólo pueden escucharse con el auricular.

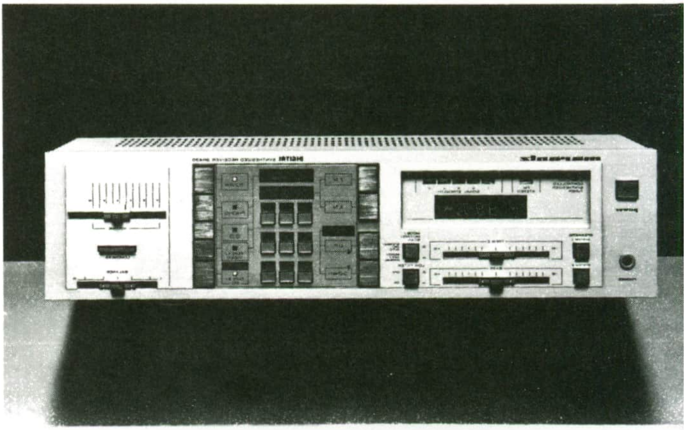
Para elevar esta sensibilidad se utilizaron una o más etapas de amplificación de alta frecuencia. Tendremos así un receptor de amplificación directa o de radio frecuencia sintonizada. Pero no se conseguía mejorar la selectividad.

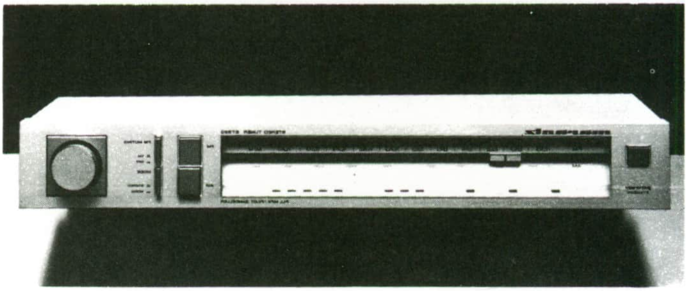
Posteriormente los receptores regenerativos y superregenerativos mejoraron aún más la sensibilidad. Pero el gran



Los circuitos integrados en su más elevada escala de integración han posibilitado que los receptores de radio lleguen a alcanzar un tamaño pequeño con gran número de funciones de trabajo y elevadas prestaciones.

paso hacia la mejora de la selectividad se dio con el receptor heterodino. Consiste en un receptor que utiliza un oscilador de frecuencia ajustable (oscilador local) cuya salida se mezcla con la señal proveniente de la antena o del amplificador de RF. El producto de la mezcla son dos señales, una de frecuencia diferencia de las concurrentes y





La diferencia entre sintonizador y receptor está en la etapa amplificadora que incluye el segundo y sobre la que se puede actuar con los mandos correspondientes.

otra diferencia de las mismas. Si hacemos que la frecuencia del oscilador local sea exactamente la misma que la de la señal recibida, la señal resultante de la diferencia será, precisamente, la modulación contenida en la onda radio (al ser las frecuencias del mismo valor el resultado de la diferencia es cero y sólo se obtiene la información impresa en la onda moduladora). La señal suma se elimina con la ayuda de un filtro conveniente. Si el oscilador local es de

buena calidad se consigue una apreciable selectividad.

También podemos citar los llamados receptores *reflex*, en los que los pasos amplificadores se utilizan indistintamente para alta frecuencia y audio. Este tipo de receptor consigue un cierto ahorro de componentes.

Esquema de un sintonizador de AM

Los receptores anteriormente comentados son una muestra de las diversas opciones con las que se ha contado a lo largo de la historia de los sintonizadores. Pero el receptor más utilizado en la actualidad es el superheterodino. Este sintonizador se basa en la mezcla de dos señales de alta frecuencia y en el posterior filtrado del resultado para obtener sólo la frecuencia suma (o diferencia). Después de demodularla se recupera la señal de baja frecuencia que ha enviado la emisión (figura 24).

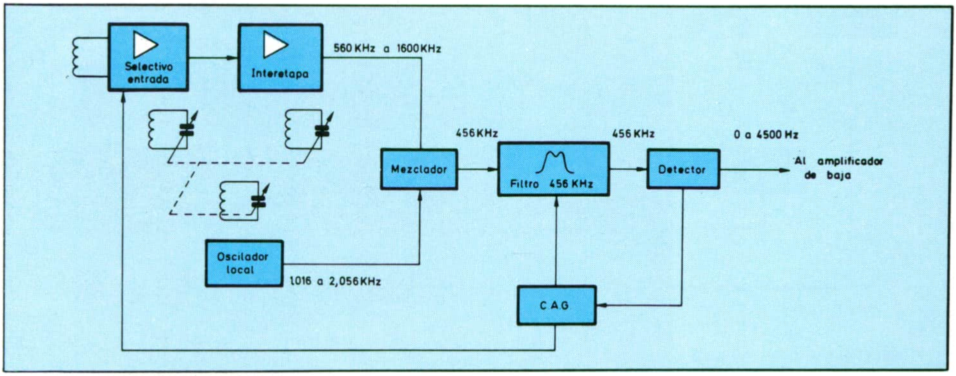


Figura 24. Esquema básico de un receptor superheterodino para AM representado mediante un diagrama de bloques.

Para sintonizar el filtro resonante de entrada utilizamos un condensador o bobina variable. En sintonizadores de Alta Fidelidad se utilizan exclusivamente condensadores, bien con dieléctrico de aire, bien varicaps. Estos últimos varían su capacidad según una tensión continua. Mediante varios filtros intercalados se filtra lo máximo posible la señal recibida.

El oscilador local genera una frecuencia de 456 kHz más o 456 kHz menos de la señal sintonizada. Ambas se juntan en el mezclador dando lugar a sumas y diferencias. Una vez

mezcladas las señales, el resultado se filtra con un paso de bandas de 9 kHz y una frecuencia intermedia o central de 456 kHz.

La mezcla óptima se realiza en una proporción determinada de amplitud entre la señal del oscilador y la de la antena. Pero esto no es fácil de conseguir porque ésta última puede variar de microvoltios a voltios, mientras que la del oscilador es constante.

Para anular este problema y controlar el nivel variable de la entrada se utiliza un control automático de ganancia (CAG) que regula la ganancia de los amplificadores de entrada y controla los pasos de frecuencia intermedia. Con esto se consigue evitar la saturación de entrada y mantener la selectividad a un nivel constante. Pero veamos un ejemplo real.

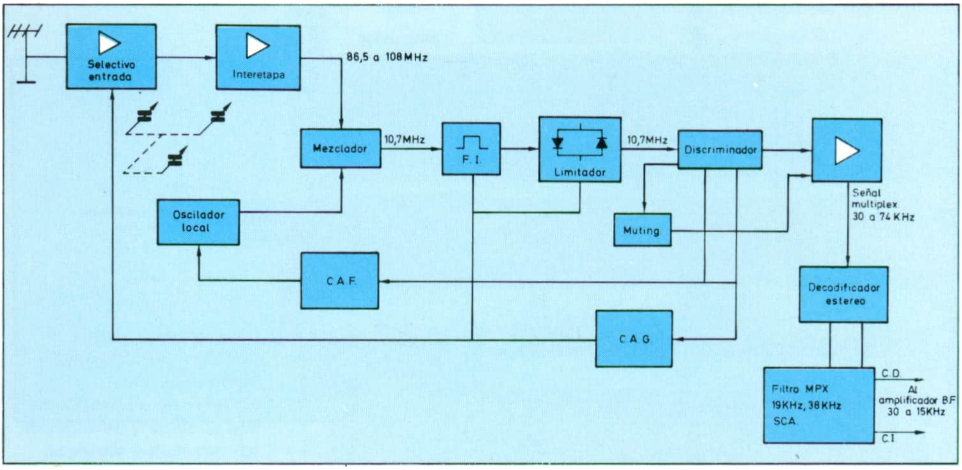


Figura 25. Esquema básico de bloques de un receptor superheterodino para FM.

Tenemos que sintonizar una emisora de 600 kHz con un receptor de batido superior, es decir, el oscilador local genera una frecuencia de 1.056 kHz. Al mezclarse ambas señales aparecen dos ondas, una de frecuencia 456 kHz y otra de 1.656 kHz. Esta última está lo suficientemente lejos de la primera como para no interferirla.

Una vez eliminadas las demás frecuencias sólo falta eliminar la portadora de 456 kHz y recuperar la señal de

audio frecuencia. Esto se lleva a cabo en el detector que, por lo general, es un circuito de diodos. El filtro de BF rechaza todas las frecuencias que sobrepasen 4,5 kHz, con lo que ayuda a eliminar los parásitos de frecuencia superiores.

Esquema de un sintonizador de FM

Tras estudiar brevemente el sintonizador de amplitud modulada (figura 24), veamos también a nivel de diagrama de bloques cuales son las diferencias substanciales con un sintonizador de frecuencia modulada (figura 25).



Los equipos receptores estereofónicos pueden ser de tipo portátil con varias ondas. El modelo CS 550 de Aiwa incluye también la reproducción de cassettes.

Cuando se trata de recibir señales en FM el sintonizador tiene un diseño mucho más cuidado. La frecuencia de emisión es más elevada y, además, se transmite en Alta Fidelidad, lo cual debe asegurar una serie de prestaciones mínimas. Un diagrama de bloques de un receptor para FM

sería el de la figura 25. El sintonizador es del tipo superheterodino, como el de AM.

La señal recibida en la antena se filtra con un paso de banda variable y se amplifica. El circuito resonante que forma el condensador variable y la inductancia tiene una selectividad que depende de su resistencia interna y reactancia. Conforme más pequeña sea la resistencia con la que carguemos este filtro menor será su selectividad. Aparece pues un efecto de degradación que incrementa el ancho de banda.

Hoy día todavía se siguen empleando mucho los condensadores de armadura móvil con dieléctrico de aire. Una de las razones es que este condensador presenta una impedancia mucho mayor que los varicaps. Cuando se utilizan varicaps la resistencia es menor, con lo que disminuye la resistencia de carga, el factor de calidad del filtro (Q) y lógicamente su selectividad.

Los diodos varicap presentan también otros problemas como pueden ser su inestabilidad ante variaciones de temperatura o la no linealidad en la variación de su capacidad. Su ventaja más importante, que permite múltiples posibilidades, es que se puede gobernar fácilmente con tensión continua.

Si el amplificador asociado al filtro es del tipo MOS, con una elevada resistencia equivalente de entrada, no existen problemas en el tratamiento de grandes o pequeñas señales de antena, pero si los elementos activos son bipolares cargarán excesivamente el filtro y se saturarán con señales más pequeñas que con semiconductores MOS. Este tipo de semiconductor permite también variar su propia ganancia (MOS de doble puerta) e incluso convertirla en negativa, con lo que no sólo amplifica sino que atenúa.

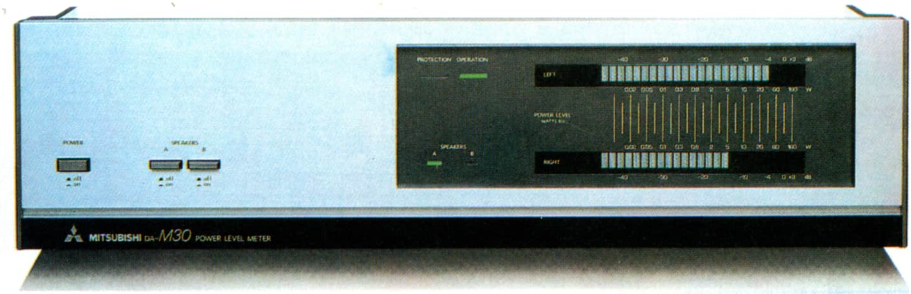
En la actualidad es difícil encontrar sintonizadores de Alta Fidelidad que no contengan elementos MOS entre sus amplificadores selectivos de entrada y/o en el conversor, debido a las razones ya especificadas.

La frecuencia intermedia en FM es de 10,7 MHz, por tanto la frecuencia del oscilador local será igual a la frecuencia a sintonizar más la frecuencia intermedia. Es importantísimo que la frecuencia del oscilador local se mantenga constante en el tiempo o, en caso contrario, el receptor se puede desintonizar o perder la emisora. Esta deriva o *drift* debe ser inferior a ± 20 kHz (equivalente a $\pm 0{,}02$ % de la frecuencia

media en FM) en un buen receptor, lo cual es bastante difícil de conseguir.

Para eliminar este inconveniente existe el llamado control automático de frecuencia (CAF), que toma la tensión de error generada en el discriminador al desplazarse el oscilador local y se aplica a un varicap colocado en paralelo con el condensador variable del oscilador local. Así se consigue desplazarlo nuevamente a su frecuencia original.

Este sistema requiere de la ayuda de circuitos de muy elevada precisión y uno de los más utilizados es el llamado *circuito cerrado de fase* o *bucle de enganche de fase* (en inglés, *Phase Locked Loop*, PLL).



El equipo M 30 de Mitsubishi presenta un estilizado diseño y permite medir el nivel de potencia de pico mediante un visualizador fluorescente. Este equipo posee un sistema de excitación del oscilador a base de impulsos y una respuesta independiente de la frecuencia y de la forma de onda en la entrada. Necesita un amplificador de potencia a la salida.

Para sintonizar una nueva emisora es preciso desconectar el CAF si no queremos pasar por alto emisoras débiles o anular el funcionamiento del sistema.

En general la deriva del oscilador local es más importante al conectar el aparato, pero suele disminuir rápidamente a los 15 ó 20 minutos de su puesta en marcha.

En los sistemas con varicap la tensión de control que se utiliza para cambiar la sintonía puede corregirse en función de la temperatura para compensar su efecto negativo. Para suplir la pérdida de selectividad que tienen los varicaps respecto al sistema con condensador de armadura móvil deben añadirse más etapas selectivas de entrada, pudiendo llegar a igualar las prestaciones aunque con mayor complejidad.

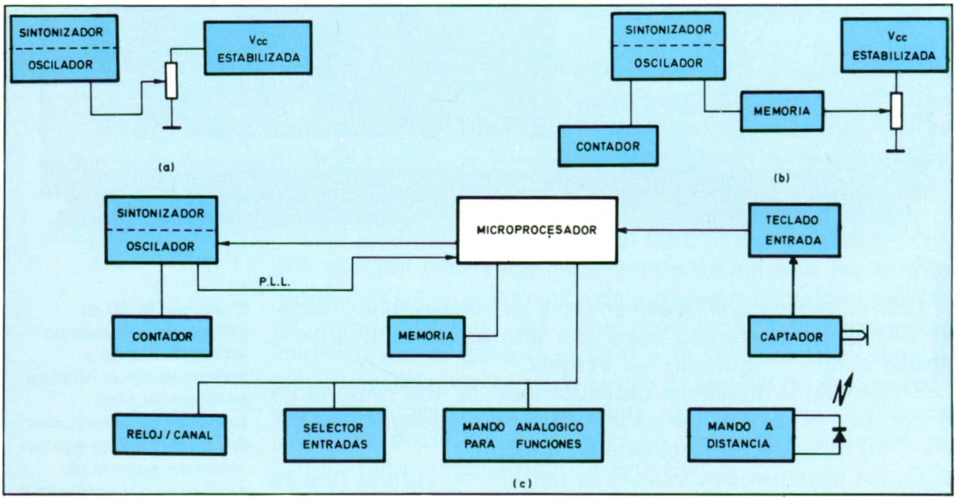
Tanto el sistema de condensador variable como el de varicaps son analógicos: la frecuencia de sintonía se elige de forma continua entre los extremos de la banda, pero como las emisoras transmiten en unas frecuencias fijas y concretas,

Figura 28. a) Sistema con mando manual; b) Sistema con memoria de emisoras y control por contador del oscilador local con posibilidad de mando a distancia; c) Sistema con microprocesador que incluye además dispositivos de búsqueda, mando a distancia, reloj, indicador de canal de escucha, etc.

no es necesario que se puedan sintonizar todos y cada uno de los infinitos valores de frecuencia.

Así, los más recientes diseños disponen de sistemas de búsqueda automática y electrónica de emisoras y el más completo control digital con mando a distancia, programación, etc. Esto es posible gracias a la sintonía digital (figura 28).

El proceso podría ser el siguiente: se selecciona una frecuencia de sintonía, el microprocesador contenido en el aparato genera una tensión que corresponde a la frecuencia seleccionada de forma que si hay alguna emisora retransmitiendo en dicha frecuencia la señal pasará a la etapa siguiente.



El sintonizador lleva circuitos internos que son capaces de generar o «sintetizar» una señal de la frecuencia deseada (esta parte del receptor recibe el nombre de sintetizador) cuyo valor se mantiene perfectamente constante. El sintonizador así equipado sustituye su oscilador local por el sintetizador y por ello se suele denominar sintonizador sintetizado.

Los aparatos equipados con la sintonía digital incorporan un visualizador a LEDs en el que se muestra la frecuencia a la que se está sintonizando. Este visualizador muestra el valor

de la frecuencia con 4 ó 5 dígitos que varían en saltos de 100 kHz. Esto es suficiente, ya que los canales de FM están separados 200 ó 300 kHz según sea Europa o EE.UU.

Veamos con más detalle algunos bloques del diagrama del superheterodino para FM. (figura 25).

Etapa de frecuencia intermedia

En el esquema general ya conocemos el funcionamiento hasta los filtro-amplificadores de frecuencia intermedia. Estos filtros pasobanda tienen una frecuencia central de 10,7 MHz y un ancho de banda variable, según sea para recepciones monofónicas (180 kHz) o estereofónicas (260 kHz).

El rechazo de frecuencias espúreas, imagen y armónicos permite que el receptor sintonice solamente la emisora deseada y elimine las demás.



Equipo portátil compacto de JVC. Está formado por un televisor de color de cinco pulgadas capaz de trabajar con los sistemas PAL y SECAM, un receptor de radio con tres gamas de ondas y un reproductor de cassettes.

Esta propiedad se evalúa en dB y es necesario hacer una distinción entre espúreas, sin relación con la frecuencia intermedia, y armónicos, cuya frecuencia es múltiplo o divisor entero de los 10,7 MHz. Estos inconvenientes se ponen de manifiesto cuando, por ejemplo, se sintonizan dos emisoras a la vez. La señal que se nos «cuela» sobre la

emisora que queremos escuchar debería ser muy fuerte, pues ha tenido que superar el rechazo de los filtros sintonizados de entrada y el rechazo propio de la frecuencia intermedia, en total unos 90 ó 100 dB de atenuación. La superposición de las emisoras se debe a que la frecuencia de la indeseable coincide con la espúrea de los filtros de FI y esta atenuación no se produce en la realidad.

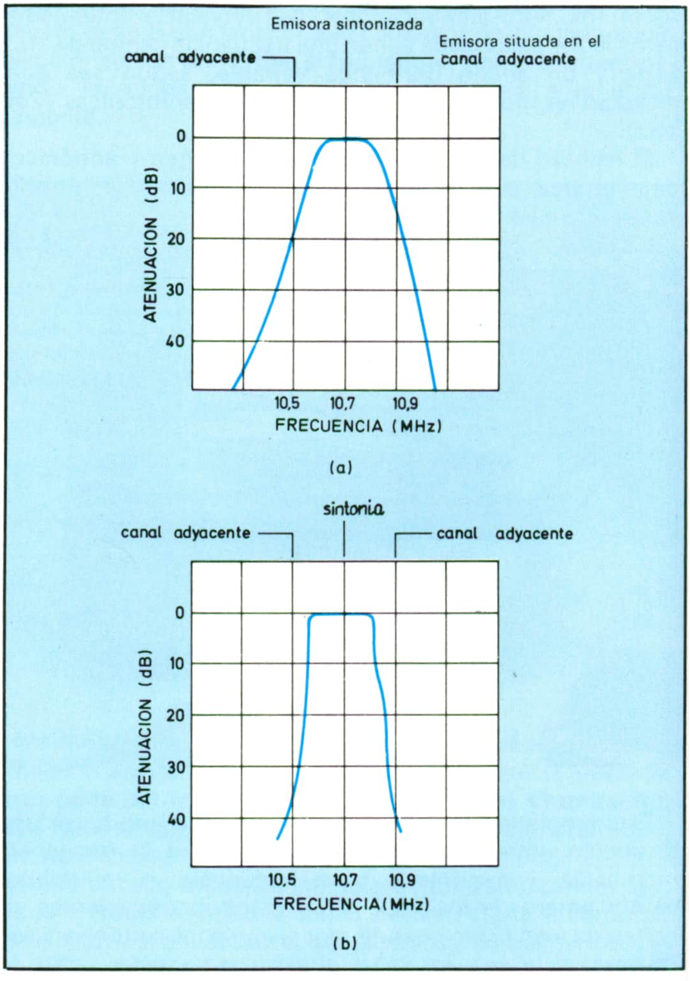


Figura 30. a) Filtro de FI a 10,7 MHz poco selectivo que permite sintonizar a la vez dos emisoras; b) Filtro suficientemente selectivo para discernir entre dos emisoras situadas en canales adyacentes.

Si observamos las diferencias entre un filtro ideal y otro real veremos que el último se ensancha por su base, por lo tanto si una emisora de los canales adyacentes tuviera suficiente potencia podría sumarse a la recepción. Según el ancho de banda del filtro de FI se pueden sintonizar simultáneamente emisoras adyacentes si las señales son fuertes. (figura 30).

Cuando tenemos una buena selectividad, lo que quiere decir que el ancho de banda es suficientemente estrecho y estable, aunque situemos emisoras en canales adyacentes no se recibirán simultáneas a nuestra recepción. Esta selectividad es importantísima cuando se trata de distinguir canales adyacentes en zonas donde proliferan las emisoras, pero no lo es tanto en zonas rurales de escasa difusión radiofónica.



Receptor estereofónico de JVC con sintetizador digital a cuarzo. Posee un amplificador de potencia en clase super A y ecualizador gráfico para los dos canales de salida.

En resumen, la selectividad del canal adyacente se debe casi exclusivamente a la calidad del filtro de FI, pues el ancho de banda de los pasos sintonizados de entrada es de 1,5 a 3 MHz. Estos son más importantes en cuanto al rechazo de la frecuencia imagen y espúreas, evitando

producir diferentes FI que darían lugar a la recepción simultánea de varias emisoras si coinciden con las espúreas de los filtros de FI como vimos.

Es muy importante que en los filtros de FI no se introduzca ningún desfase ni retraso de la portadora, pues afectaría directamente la decodificación de FM estéreo disminuyendo su efecto.

Limitadores

En AM los ruidos parásitos se suman alterando la amplitud de la portadora durante la emisión. Esto puede suceder siempre que tenga lugar un enlace de radio, pero en FM este hecho no afecta a la información ya que está codificada en la variación de frecuencia. Los limitadores se encargan de recortar la envolvente y se intercalan entre los filtros de FI; además de recortar la amplitud la fijan a un nivel constante que permite aprovechar mejor el rechazo de los filtros de FI.

Control automático de ganancia (CAG)

El CAG es también útil en los receptores de FM y sus funciones son muy similares a las que desempeñan en los receptores de AM. Sirve para evitar la saturación de los pasos de entrada, mantener un nivel de mezcla óptimo entre el oscilador y la señal de entrada y estabilizar el nivel de señal en la frecuencia intermedia. Junto a los limitadores ayuda a obtener el nivel óptimo de funcionamiento de los filtros de FI.

Demoduladores

El detector o demodulador es la etapa encargada de extraer la información contenida en la señal, ya sea en amplitud o en frecuencia. Los demoduladores utilizados en transmisión FM pueden ser de varios tipos:

Detector discriminador

El detector discriminador es el primer tipo de demodulador que se utilizó en FM y su funcionamiento básico se debe a los desfases entre tensión y corriente producidos al variar los 10,7 MHz en un filtro sintonizado. Al realizar la comparación mediante una detección en amplitud es necesario mantener un nivel de entrada constante, además de estar muy bien limitada la señal de FI para evitar cualquier modulación

parásita. Este sistema está en desuso en la actualidad.

El demodulador de relación

Su funcionamiento es muy similar al anterior, pero mejora el rechazo de parásitos al efectuar la detección en oposición y también mejora la relación señal/ruido.



Los receptores de radio de sobremesa suelen incorporar un reloj digital, así como pueden emplearse como despertadores y presentar la opción musical con la emisora preferida, además del clásico zumbido.

Detector de coincidencia

El detector de coincidencia tiene un buen rechazo a los parásitos, pero aun así se necesita una buena limitación. Es algo sensible a las modulaciones de amplitud. El sistema consiste en desfasar una parte de la señal y sumarla a la anterior. Si no hay diferencia de fase en la señal de FI la tensión de salida permanece invariable, pero si estaba modulada en frecuencia aparece en la salida la variación instantánea de frecuencia o, lo que es lo mismo, la señal demodulada. Es un sistema muy difundido por su precisión.

Detector por conteo de impulsos

Aunque es el sistema más imperfecto también es el de más simple construcción. Se basa en un doble cambio de FI mediante un sistema RC que produce una FI de 200 kHz. Esto implica una pérdida de rechazo para las frecuencias imagen y no se suele utilizar en Alta Fidelidad.

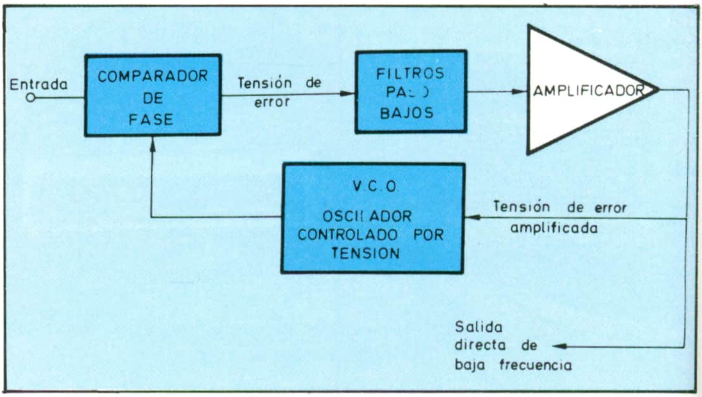


Figura 33. Descripción de un bucle de enganche de fase (PLL). La señal incidente se compara en fase con la procedente del oscilador (VCO), si son iguales, la tensión de error es invariable. En caso de existir diferencias de frecuencia, la tensión de error varía y obliga al VCO a oscilar a la nueva frecuencia. Si la señal incidente está modulada en frecuencia, la tensión de error es directamente la tensión de baja frecuencia demodulada.

Demodulador por PLL

Este demodulador se basa en las características del PLL (figura 33). La señal de FI se conecta al comparador de fase y la tensión de error se filtra para hacer oscilar al VCO. Esta señal de error es directamente la señal de baja frecuencia demodulada. Aunque el circuito PLL data de 1930 no se difundió hasta 1972 gracias a la producción masiva de circuitos integrados PLL.

La codificación multiplex

Es este el nombre que se da al sistema de transmisión de señales FM estereofónicas debido a la simultaneidad con la que se emiten varias informaciones por un mismo canal de radio. La información básica a transmitir está formada por dos señales distintas e independientes: los dos canales del sistema estéreo, el izquierdo (I) y el derecho (D).

El primer requisito es hacer pasar estas señales por filtros

que eliminan todas las frecuencias parásitas superiores a 15 kHz. Así se evitan posibles distorsiones de la futura señal multiplex.

Después del filtrado las señales se dirigen a dos circuitos. Uno de ellos entrega a su salida la señal suma de ambos canales (I + D), que constituye la señal monofónica y a la que llamaremos M.

El otro efectúa la resta entre los canales (I – D), que llamaremos E y que será necesaria para la correcta regeneración de la información.

El transmisor deberá enviar las dos señales, M y E, una (M) para que un receptor monofónico reciba la información completa y la otra (E) por ser imprescindible en la transmisión estéreo.



Dos receptores estereofónicos digitales de cuarzo de la firma Nikko. En la parte superior el indicador de sintonía es del tipo de dial con aguja, y el de la parte inferior es de tipo digital.

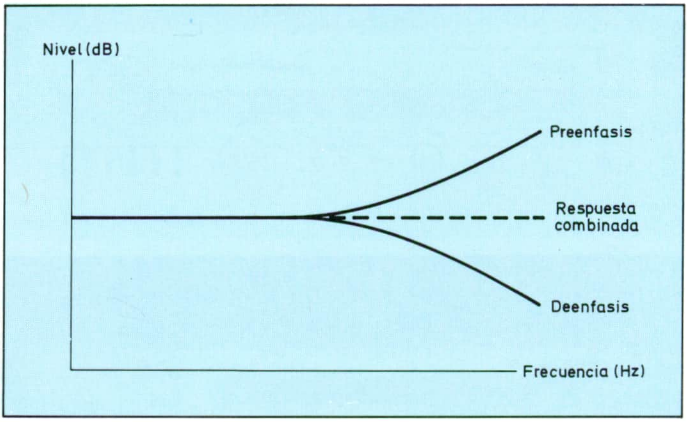
Para aumentar la relación señal/ruido se utiliza el llamado *énfasis*. El *preénfasis* tiene lugar en el emisor y consiste en realzar en 6 dB las altas frecuencias de la señal de información.

Esto nos permitirá colocar un filtro en el receptor, llamado

de *deénfasis,* que atenúa estos mismos 6 dB. Con ello se consigue una mejora en la relación señal/ruido de 10 a 12 dB.

La constante de tiempo de estos filtros debe ser la misma, tanto en el emisor como en el receptor, y está normalizada a 75 μseg para EE.UU., 50 μseg para Europa y se reducen a 25 μseg para emisiones codificadas con Dolby.

Un receptor monofónico tratará la señal multiplex como si fuera monofónica y consecuentemente aplicará el *deénfasis* adecuado. El transmisor estéreo debe realizar preénfasis de la señal M, pero también habrá de hacerlo con la señal E para que el receptor estéreo pueda recomponer con perfección la señal original. Los circuitos de *preénfasis* van colocados así en la salida de los circuitos que producen las señales E y M.



El filtro de énfasis (preénfasis y deénfasis) permite una considerable mejora en la relación señal/ruido de la transmisión en FM.

Por otra parte el transmisor genera dos señales de 19 y 38 kHz respectivamente. Esta última se modula en amplitud con la señal E en doble banda lateral (DBL), de forma que el resultado son dos bandas laterales iguales conteniendo la información estereofónica y simétricas respecto a la frecuencia de 38 kHz.

Esta señal se conoce con el nombre de subportadora. La señal así compuesta contiene frecuencias comprendidas entre 23 y 53 kHz.

Finalmente, un circuito mezcla las señales M y piloto de 19 kHz, y todo con la señal DBL anteriormente conseguida. La señal resultante y definitiva de la mezcla (figura 36) contiene frecuencias de 0 a 53 kHz. Esta señal multiplex es la que se modula en frecuencia y se emite.

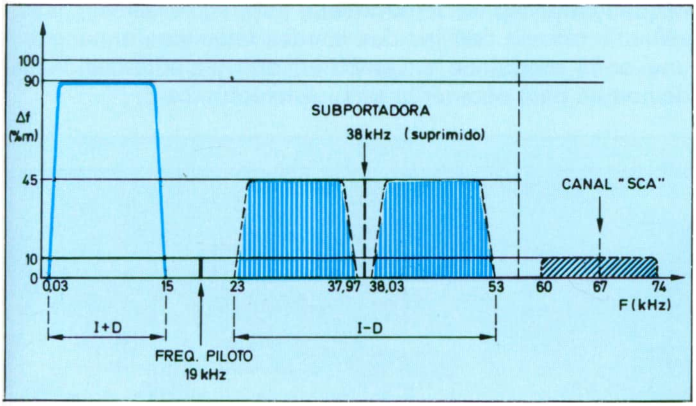


Figura 36. Amplitudes relativas de los diferentes componentes en una señal múltiplex antes de modular en frecuencia; correspondería al apartado b) de la figura 37.

Un sintonizador preparado para recibir la señal multiplex no difiere apenas de uno normal. Sólo en la etapa de FI se prevé un mayor ancho de banda de paso para no atenuar ni deformar la información estéreo. El demodulador también funciona normalmente, excepto que es de mejor linealidad y permite una mayor excursión de frecuencia para minimizar la distorsión.

La salida del demodulador se envía al decodificador estéreo de la señal multiplex. Este circuito consta de una serie de filtros que separan las tres informaciones básicas contenidas en la señal demodulada: la señal mono (M), la piloto (19 kHz) y la estéreo (E).

Cuando el filtro de la señal piloto no detecta señal alguna, el decodificador interpreta que la señal es monofónica. En este caso envía la señal M a los dos canales, después de aplicarle el correspondiente *deénfasis*. Además anula cualquier señal que no sea M para evitar posibles interferencias.

Si se detecta la señal piloto de 19 kHz, el decodificador entiende que la señal es estéreo y debe tratarse adecuadamente.

En primer lugar es necesario encender un piloto luminoso que da a conocer al usuario que se da esta circunstancia. A continuación se aplica el *deénfasis* adecuado a cada una de las señales.

De uno de los filtros ya se obtiene la señal monofónica directamente. Para obtener la señal E el decodificador obtiene una señal de frecuencia 38 kHz doblando la frecuencia piloto de 19 kHz (que para eso se envía). Esta señal se mezcla con las dos bandas laterales, formándose una onda modulada en amplitud que a continuación se demodula para obtener la señal estereofónica E.

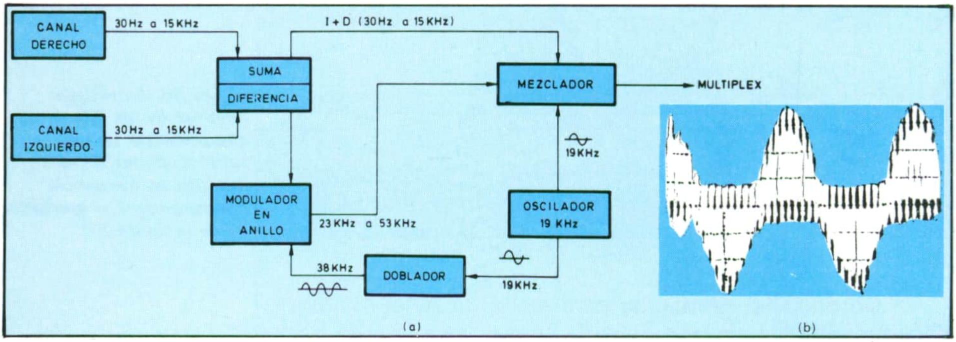


Figura 37. a) Esquema de bloques para un modulador de señal estéreo; b) Señal multiplexada utilizada para modular la portadora en frecuencia.

Con las dos señales separadas, E y M, se procede a obtener los dos canales mediante la suma y resta de ambas:

$$M+E=(I+D)+(I-D)=2I$$
$$M-E=(I+D)-(I-D)=2D$$

El factor 2 sólo afecta a la amplitud de la señal y no a su frecuencia. Estas señales se envían a las respectivas salidas después de ser preamplificadas para conseguir un cierto nivel de señal.

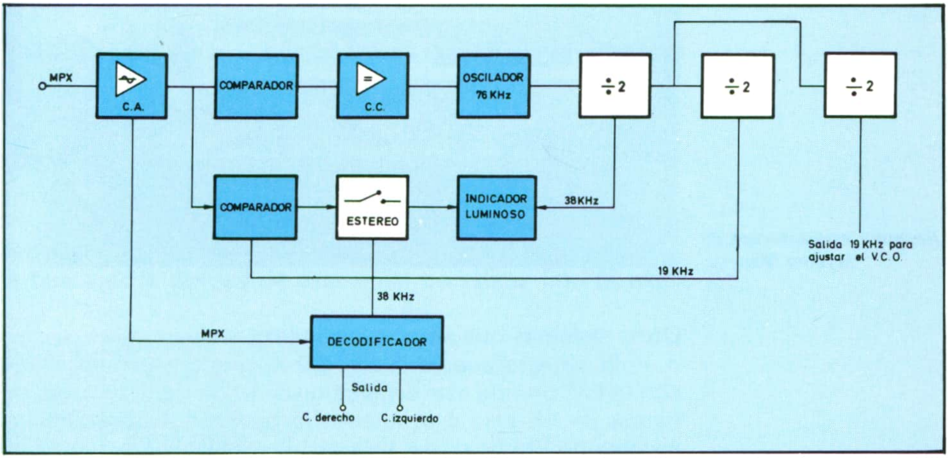
En general este sistema de decodificación puede adquirir muy diversas formas, pero la más extendida por sus buenos resultados es la que se basa en un PLL.

El oscilador controlado por tensión (VCO) se ajusta a una frecuencia propia de 76 kHz lo más precisa posible (con una tolerancia de ± 10 Hz). Esta frecuencia, que es el cuádruplo

de la frecuencia piloto (4 × 19 kHz), se consigue con una tensión de error adecuada, corrigiendo las posibles fluctuaciones tanto del propio PLL como de la emisora.

Una vez obtenida la señal piloto y comparando su frecuencia se puede generar una subportadora exactamente igual, en fase y en frecuencia, a la utilizada para modular la señal E durante la emisión, evitando la generación de frecuencias imagen por intermodulación que harían imposible la correcta separación entre canales. Los circuitos PLL son perfectos para «copiar» frecuencias (figura 38).

Figura 38. Esquema de bloques para un decodificador por PLL. El VCO oscila a 76 kHz, que dividido por dos genera los 38 kHz necesarios para demodular y, dividiendo otra vez por dos, se obtienen los 19 kHz necesarios para comparar con la frecuencia piloto y corregir la frecuencia del VCO. Es necesario resaltar que el VCO oscila a 76 kHz, aunque siempre estamos midiendo los 19 kHz ya que los 76 kHz no tienen acceso externo.

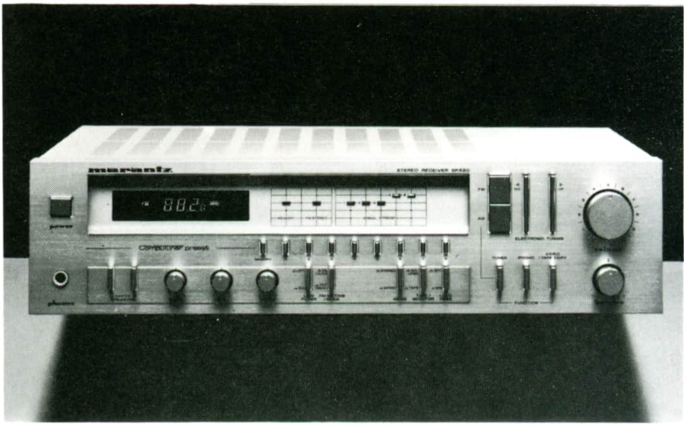


Para evitar intermodulaciones con los osciladores de borrado (de magnetocassettes) deben eliminarse las componentes de 19,38 kHz y canales subsidiarios (SCA), que van mezcladas con las señales de ambos canales. En caso contrario el efecto es muy molesto y consiste en un tono fijo producto de la intermodulación, el cual entra en las frecuencias audibles.

Los filtros que se utilizan tienen un ancho de banda perfectamente plano hasta 15 kHz, donde inician una pendiente muy pronunciada que debe rechazar los 19 kHz con suficiente selectividad. Un buen receptor debe atenuar la señal piloto 40 dB y la subportadora de 38 kHz unos 60 dB.

Otros sistemas de codificación

El sistema multiplex no es el único sistema para codificar la señal de FM estéreo, pero hoy día es el único que se utiliza con plenas garantías de éxito.



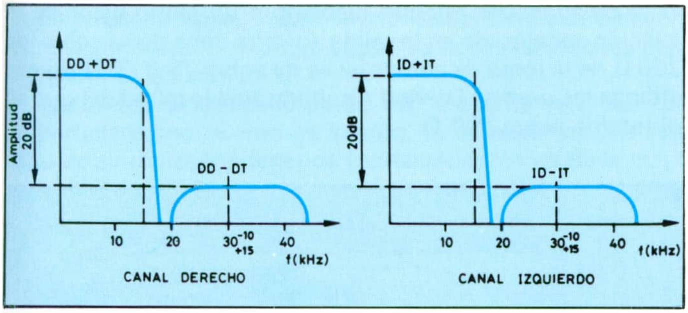
Receptor estereofónico de la firma Marantz.

Otros sistemas que se podrían utilizar son:

— El *sistema cuadrafónico CD-4*, que no es compatible con la FM porque este sistema discreto necesita un paso de banda de 45 kHz y el ancho de banda máximo para los canales de FM es de 15 kHz.

— Los *métodos matriciales SQ*, basados en una codificación de fase, son compatibles con la emisión de FM. Este sistema es cuadrafónico (aunque totalmente compatible con la recepción estéreo y monofónica) y se incluye en el canal derecho una composición en módulo y fase de los canales anterior y posterior derecho más izquierdo posterior, mientras que en el canal izquierdo se modulan el anterior y posterior izquierdo más el derecho posterior. Se consigue así limitar la frecuencia máxima a 15 kHz con lo que se facilita la compatibilidad con FM.

Existen otros sistemas de codificación en estéreo, basados en reductores de ruido específicos, o sistemas poco desarrollados que no son compatibles con la reproducción estándar de FM y, por lo tanto, su aplicación es muy restringida.



El canal derecho contiene la información del derecho delante más el derecho detrás y a un nivel inferior en 20 dB de la diferencia de ambos. El ancho de banda hay que alargarlo hasta 45 kHz, lo cual impide su utilización en emisión estereofónica; DD = derecha delante; DT = derecha detrás; ID = izquierda delante; IT = izquierda detrás.

CARACTERISTICAS DE LOS SINTONIZADORES

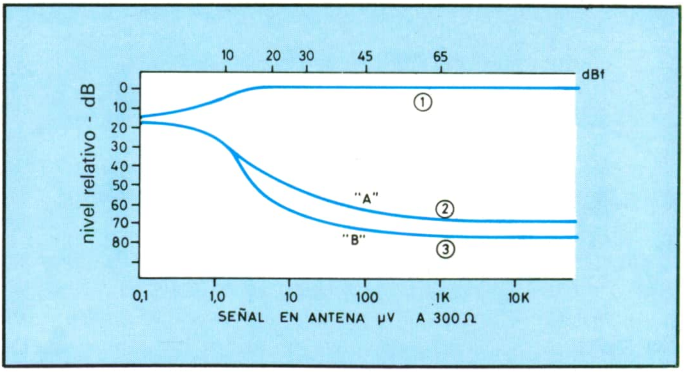
La sensibilidad es quizás el parámetro más difundido en un receptor de FM. La sensibilidad se podría definir, en un primer acercamiento, como aquel valor de señal a la entrada del sintonizador que produce a su salida un determinado efecto. Antiguamente el efecto que se esperaba era una determinada potencia de salida, pero en la actualidad lo que se busca es la calidad de esta señal de salida. En FM este



Los receptores de radio forman parte de cualquier equipo o cadena de alta fidelidad que se precie de ofrecer amplias posibilidades al usuario. (Cortesía: Teac).

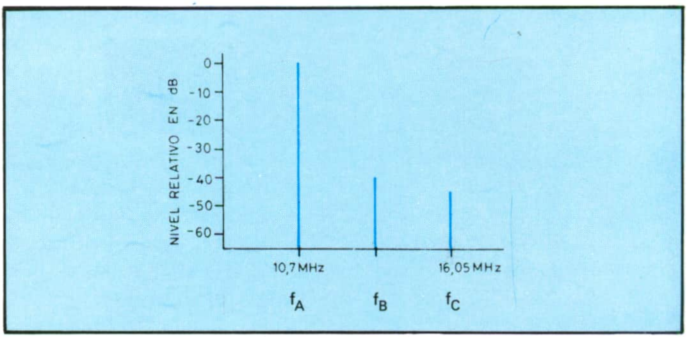
valor se suele dar referido respecto a un cierto valor de la relación señal/ruido en la salida. La cifra debe darse sobre los 300 Ω de la toma de antena, si se da sobre 75 ó 60 Ω (como indican las normas DIN) el resultado será la mitad del que se obtendría sobre 300 Ω.

El sintonizador B es más sensible que el A con una relación s/n igual a 50 dB aunque a 30 dB ambos sintonizadores tienen igual sensibilidad. También el sintonizador B tiene una relación señal/ruido mejor; (1) = nivel máximo de salida en BF; (2) = nivel de ruido mínimo para «A»; (3) = idem para B.



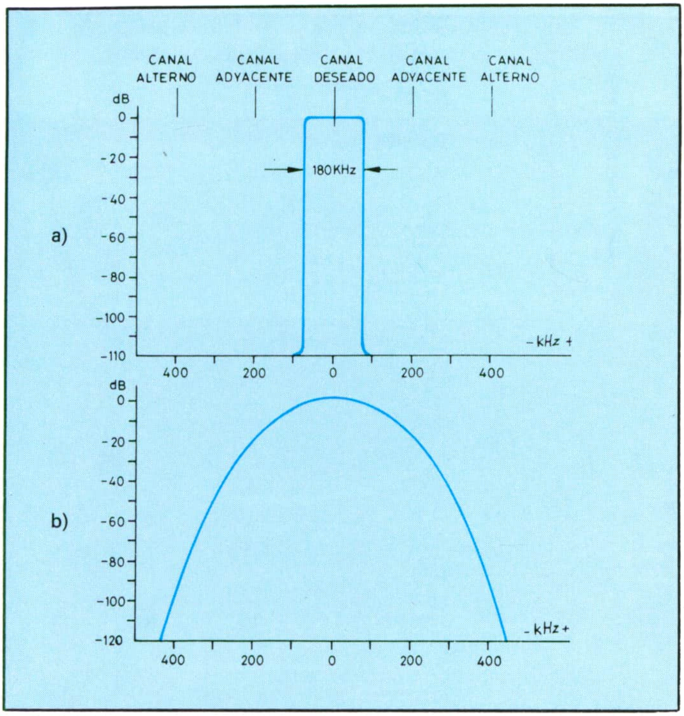
Existen varias formas de expresar la sensibilidad según estén referidas a valores concretos de relación señal/ruido. Así, la sensibilidad útil es aquel valor que proporciona una relación señal/ruido de 30 dB (a veces 27 dB). También puede definirse la sensibilidad eficaz, más importante que la anterior, que se refiere a 50 dB de señal/ruido. Este valor es más útil en Alta Fidelidad, ya que una recepción con 30 dB de señal/ruido no puede considerarse de suficiente calidad.

Con el receptor sintonizado a f_A se recibe a la vez una emisión espúrea de f_B con -40 dB y una imagen a f_C con -45 dB.



En cualquier caso, cuanto menor sea la cifra más sensible será el sintonizador y podrá captar señales más débiles para convertirlas en sonido.

Todos los sintonizadores de FM actuales son del tipo superheterodino. Como es sabido, la selectividad de este tipo de sintonizador depende fundamentalmente de la etapa



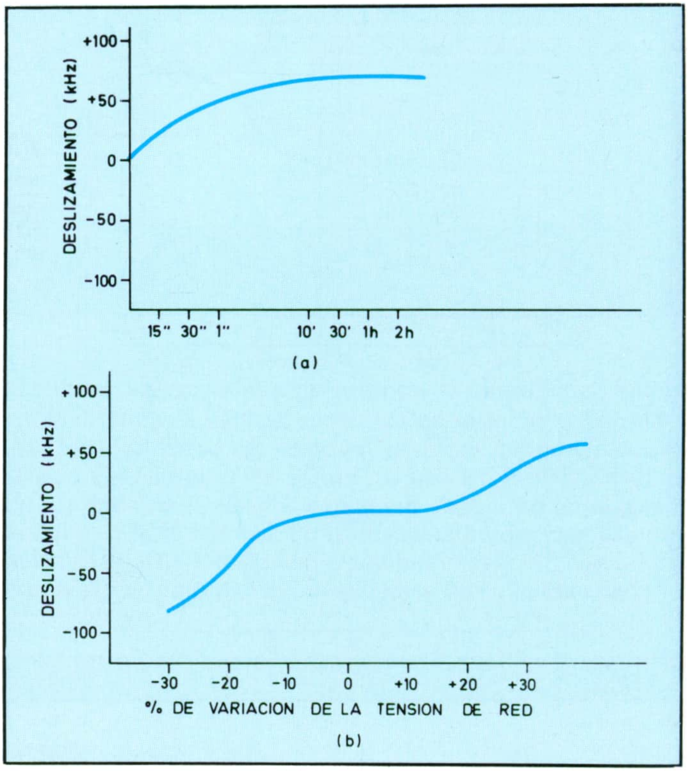
a) La selectividad es prácticamente infinita. En este caso una emisora situada a 200 kHz (canal adyacente) no interferiría la recepción; b) La selectividad es casi nula en el canal adyacente (sería −18 dB) y buena en el canal alterno (−90 dB).

de FI. En el diseño de esta etapa aparece un compromiso entre la calidad del sonido estereofónico, con lo que el ancho de banda debe ser suficientemente grande, y el rechazo a los canales adyacentes, con lo que la banda pasante debe ser estrecha. Mejorar un parámetro puede significar empeorar el otro.

La cifra óptima podría ser de 225-250 kHz. En EE.UU. las emisiones estéreo dejan canales libres entre sí.

Por ésta y otras razones se suelen dar dos cifras de selectividad.

La selectividad de canal adyacente es el rechazo a una interferencia situada a 200 kHz de la portadora sintonizada. Es una característica importantísima en zonas con saturación de emisiones.



a) Se indican las variaciones en función del tiempo de conexión. Un deslizamiento importante del oscilador local puede resultar pernicioso para la selectividad, separación de canales estéreo, relación señal/ruido e incluso puede llegar a perderse la sintonía; b) Indica los deslizamientos del oscilador local en función de la tensión de red, expresados en tanto por ciento.

La selectividad del canal alterno es el rechazo a una interferencia situada a 400 kHz de la portadora sintonizada, tanto en el canal adyacente como en el alterno. Cuanto mayor sea el parámetro, expresado en dB, mejor será su selectividad.

También puede darse la selectividad a una frecuencia no

sintonizada igual a la sintonizada más el doble de la FI. Es lo que se llama rechazo a la frecuencia imagen.

Será más selectivo el receptor que presente una mayor relación de supresión en AM. Esto indicará el rechazo a señales modulares en amplitud, ya sea accidentalmente (recuérdese la modulación de los parásitos) o debidas a emisoras de AM con armónicos que interfieran la FM. Sirve para medir el efecto de los limitadores.

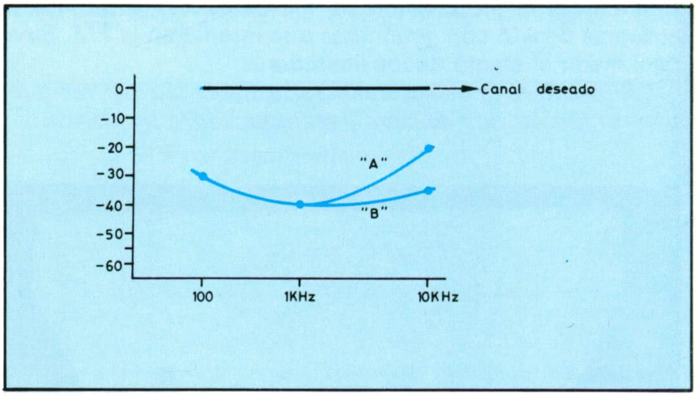
En resumen, la *selectividad es la habilidad del receptor para sintonizar una emisora y rechazar todas las demás.*



El receptor de radio suele quedar dispuesto entre el amplificador y el reproductor de cassettes. La señal de salida del receptor se lleva al amplificador de potencia por la parte posterior del equipo.

El silenciador *muting* es un dispositivo que, a partir de un cierto nivel de recepción hasta la recepción nula, inhibe el previo de salida en el detector de FM. Es muy útil para

eliminar el ruido entre estaciones y para rechazar emisoras sin un mínimo de potencia. La acción de este filtro también contribuye a dar una idea de la calidad del receptor: cuanto mayor sea su umbral mejor será el receptor.



Es importante indicar la separación a 1 kHz y 10 kHz debido a las dificultades para decodificar las frecuencias más altas. El receptor «A» y el «B» separan ambos a 1 kHz/40 dB, pero el receptor «A» tan sólo presenta 20 dB a 10 kHz mientras que son 35 dB en el «B».

La medida de la deriva en frecuencia del oscilador local es muy interesante, pues indica el grado de correlación entre los filtros sintonizados de la entrada y éste. El efecto más visible es un deslizamiento del medidor de sintonía del receptor. Si el desplazamiento adquiere valores elevados se producen aumentos de distorsión, mala separación entre canales y, a veces, la pérdida total de la emisora.

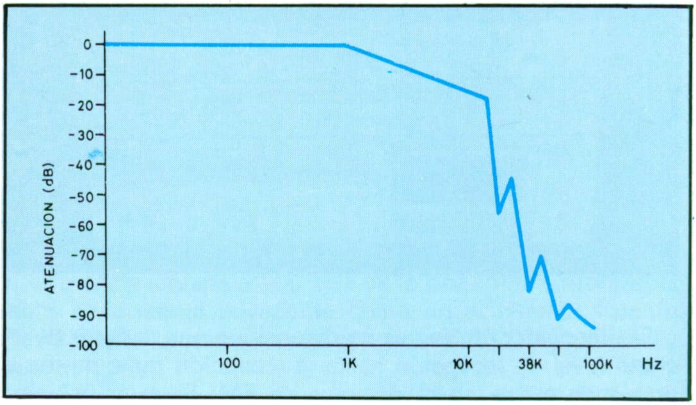


Figura 48. Respuesta en frecuencia de un sintonizador con desacentuación de 75 μs. El resultado final, debido al refuerzo (acentuación) de frecuencias altas introducido en la emisora, sería una respuesta plana hasta 15 kHz, a partir de la cual la acentuación aumenta muy rápidamente. Obsérvese que la acentuación del filtro a 19 kHz es −40 dB, a 38 kHz es −65 dB y el rechazo del canal SCA de −75 dB.

El control automático de frecuencia (CAF) crea una realimentación negativa de la señal, desde el discriminador hasta el oscilador local, para compensar la deriva en frecuencia.

La deriva en frecuencia muestra cuál es la máxima desviación con respecto a la frecuencia sintonizada que el CAF puede compensar.



La miniaturización de los receptores de radio llega a extremos tales como el espesor de una tarjeta de crédito. Los circuitos integrados VLSI han posibilitado este avance. (Cortesía: Casio)

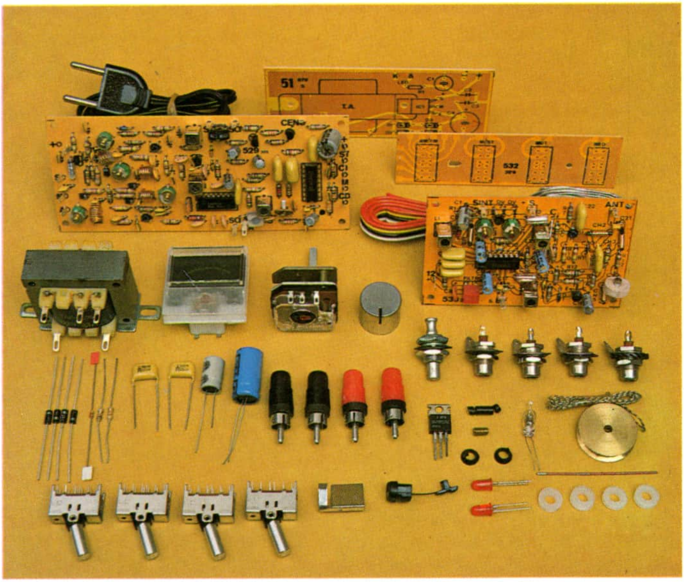
El rechazo de SCA es la característica que nos indica la habilidad del sintonizador para eliminar la modulación SCA. Esta modulación lo es en frecuencia y se codifica en emisiones privadas. El valor debe ser lo más elevado posible (figura 48).

Características exigibles a un receptor monofónico de FM	Mínimos para incluir el grupo			
	normal	bueno	optimo	será mejor cuando sea
Sensibiilidad usable, a 30 dB de s/n μV (dBf)	3(14,7)	2(11,2)	1,6(9,3)	Menor
Sensibilidad con 50 dB de s/n («quieting»)	20(31,2)	4(17,2)	2(11,2)	Menor
Sensibilidad para última s/n	65(41,5)	28(34,1)	17(30)	Menor
Relación s/n con 65 dBf	60	70	75	Mayor
Respuesta en frecuencia de 30 Hz a 15 kHz en dB	2	1,5	0,5	Menor
Distorsión armónica total con 50 dB de s/n a 1 K	1,2	0,5	0,2	Menor
Distorsión armónica total a 65 dBf 100 Hz	1	0,5	0,2	Menor
Distorsión armónica total a 65 dBf 1 kHz	1	0,4	0,1	Menor
Distorsión armónica total a 65 dBf 6 kHz	1,5	0,5	0,2	Menor
Distorsión intermodulación	2	0,6	0,3	Menor
Nivel de «muting» en μV	15	2	1,5	Menor
Relación de captura en dB	3	1,5	1,1	Menor
Selectividad del canal adyacente en dB	10	20	25	Mayor
Selectividad del canal alterno en dB	50	75	90	Mayor
Rechazo de espurias en dB	60	80	100	Mayor
Rechazo de la frecuencia imagen en dB	60	80	100	Mayor
Rechazo de frecuencia intermedia en dB	50	70	90	Mayor
Rechazo a AM en dB	40	50	60	Mayor
Captura de CAF en ±kHz	100	200	300	Mayor
Características a añadir en caso de FM estéreo				
Sensibilidad usable a 30 dB de s/n	15(28,7)	4(17,2)	2(11,2)	Menor
Distorsión armónica total a 50 dB de s/n (100) (1 K) (6 K)	(2) (1,5) (5)	(1) (0,8) (1,6)	(0,2) (0,15)(0,5)	Menor
Distorsión armónica total a 65 dBf a 1 kHz	4	1	0,5	Menor
Distorsión intermodulación en %	5	1	0,5	Menor
Separación entre canales 100 Hz en dB	20	35	40	Mayor
Separación entre canales 1 kHz en dB	25	40	45	Mayor
Separación entre canales 10 kHz en dB	25	30	35	Mayor
Rechazo de la frecuencia piloto (19 kHz) en dB	25	40	50	Mayor
Rechazo de la subportadora (38 MHz) en dB	45	65	75	Mayor
Rechazo de SCA en dB	45	70	80	Mayor

Resúmen de las principales características de los receptores de radio mono y estéreo en FM.

VALORACION DE LAS CARACTERISTICAS

Para hacer una correcta ponderación del receptor, desde el punto de vista funcional y dejando a un lado la valoración o influencia, que no siempre es pequeña, del acabado externo más o menos estético, la nacionalidad del fabricante, la marca del receptor y sobre todo su precio, vamos a establecer unos márgenes globales en las características de un sintonizador.



Módulos y componentes que constituyen un sencillo sintonizador AM/FM estereofónico que se comercializa en kit. En este despiece no se ha representado el mueble.

Para clasificar un modelo en concreto que tenga sus características repartidas en 2 ó 3 grupos se puede utilizar como complemento otra tabla donde se ponderan las características según la utilización concreta que se vaya a darle al receptor.

Además de las características funcionales, podemos observar que posibilidades de manejo tiene un receptor.

En frecuencia modulada es imprescindible un indicador de sintonía que puede ser analógico con indicación central y acostumbra a ser un miliamperímetro de bobina móvil con

indicación mediante aguja, o bien se puede utilizar una indicación luminosa por cambio de color o también por punto luminoso central.

Es muy conveniente disponer además de un medidor para la potencia de recepción, tal como se vio en el apartado de recepción y antenas.

El mando de sintonía debe ser muy preciso. En el caso de ser mecánico su desmultiplicación debe ser importante para facilitar la sintonía; no debe tener ambigüedad en el lugar que se sintoniza (no deben existir retrocesos al dejar el

Clasificación de características según el tipo de recepción	**Ciudadana**	**Rural**
Sensibilidad usable, a 30 dB de s/n	7	6
Sensibilidad con 50 dB de s/n («quieting»)	1	1
Sensibilidad para última s/n	3	5
Relación s/n con 65 dBf	3	7
Respuesta en frecuencia	2	2
Distorsión armónica total con 50 dB de s/n a 1 K	indiferente	4
Distorsión armónica total a 65 dBf 100 Hz	7	13
Distorsión armónica total a 65 dBf 1 kHz	7	13
Distorsión armónica total a 65 dBf a 6 kHz	7	13
Distorsión intermodulación	4	9
Nivel de «muting»	indif.	7
Relación de captura	5	3
Selectividad del canal adyacente	15	indif.
Selectividad del canal alterno	8	14
Rechazo de espurias	12	indif.
Rechazo de la frecuencia imagen	11	12
Rechazo de frecuencia intermedia	13	15
Rechazo a AM	6	8
Captura del CAF	indif.	8
Separación entre canales 100 Hz	9	10
Separación entre canales 1 kHz	9	10
Separación entre canales 10 kHz	9	10
Rechazo de la frecuencia piloto (19 MHz)	10	11
Rechazo de la subportadora (38 kHz)	14	16
Rechazo de SCA	16	indif.

NOTA: La valoración está hecha de menor a mayor, por lo tanto la característica de más importancia es el n.º 1. Cuando se repite el número es para indicar igual valor y debe estudiarse en conjunto.

En la clasificación «Ciudadana» se ha tenido en cuenta una zona de recepción fuerte pero sin gran número de emisoras, creemos que es el caso más común en España. Para la calsificación «Rural» se ha tenido en cuenta una zona de recepción débil y con escaso número de emisoras

Tabla de características de la recepción según que ésta se destine a la ciudad o en zonas rurales.

botón de sintonía). Si la sintonía es electrónica, mediante pulsador, su precisión dependerá de los saltos de frecuencia por lo que es conveniente un ajuste fino de sintonía.

El sistema más preciso de indicación consiste en utilizar un contador en el oscilador local, que indique directamente la frecuencia en MHz para FM o en kHz para AM.



Sintonizador estereofónico de la figura de la página 55 una vez montado. Recuérdese que se trata de un sencillo aparato que los aficionados pueden adquirir y montar en casa.

Respecto a los controles, debe haber posibilidad de activar o inhibir el «muting» y el CAF, el nivel de salida para el amplificador conviene que sea ajustable a fin de integrarlo en la cadena de alta fidelidad sin problemas de diferencias de volumen entre la reproducción del giradiscos, sintonizador, etc.

Las conexiones de antena exterior deben incorporar una simétrica de 300 Ω (bifilar plana) y otra de 75 Ω (coaxial) para no tener problemas con la antena.

Todas las posibilidades mencionadas son mínimas y por descontado cuantas más posibilidades tenga mejor, debiéndose considerar como factores positivos al analizar un sintonizador. Entre ellas podemos apuntar: memoria de emisoras, mando a distancia, control por μP, etc.

Respecto a la AM, aún haciendo hincapié en que no puede ser considerado homologable dentro del concepto

actual de alta fidelidad, se puede intentar discernir, según sus características, qué nivel de calidad tiene. Para ello utilizamos un resumen similar al de FM que creemos facilitará la labor del profesional a fin de discernir claramente las diferencias.

Características exigibles a un receptor de AM	Mínimos para incluir en grupos normal	bueno	opt.	Será mejor cuando sea
Sensibilidad con antena interna para una relación s/n de 30 dB	400 μV	300 μV	200 μV	Menor
Sensibilidad con antena externa para una relación s/n de 30 dB	25 μV	20 μV	15 μV	Menor
Última relación señal/ruido (dB)	30	35	45	Mayor
Selectividad (dB)	35	40	45	Mayor
Rechazo de la frecuencia imgen (dB)	50	60	65	Mayor
Rechazo de la frecuencia intermedia (dB)	55	60	65	Mayor
Distorsión armónica a 400 Hz con una modulación 30 %.	1,5	1	0,8	Menor

NOTA: Estas características son mínimas para incluir un sintonizador en un grupo determinado. Pero en ningún caso puede incluirse la AM dentro de la especificación de alta fidelidad

Tabla de características mínimas que debe reunir un receptor de amplitud modulada.

ESTUDIO COMPARATIVO DE NORMAS

Quizá la norma más difundida en general sea la DIN 45500, de origen alemán, que define si un elemento de la cadena puede ser considerado dentro del calificativo de alta fidelidad.

Debido a los continuos avances tecnológicos de la electrónica, esta norma está totalmente desfasada en cuanto a los mínimos exigibles.

Como veremos en el cuadro comparativo de la página 62 existen normas más actuales y con mejores prestaciones

como puede ser la IHF-T-200, aprobada en EE.UU. en 1975 y ratificada por IEEE con el número Std. 184-1975 que sustituye a su vez la norma de IEEE número Std. 185-1947. Otras normas como la francesa NFC 97.210, aún siendo posteriores a la DIN 45500 y un poco más estrictas, también está en período de revisión. En España tenemos en período de información pública la UNE 20636 parte II.

La norma IHF-T-200 es mucho más exigente en todos los apartados comprendidos en la norma DIN ó NFC y mucho más concreta y amplia en nuevos factores a tener en cuenta en la actualidad.



Cadena de alta fidelidad que además del reproductor de cassettes con Dolby B, giradiscos de brazo tangencial y amplificador estereofónico de 40 W por canal, incluye sintonizador AM/FM con varias presintonías (Cortesía: Thomson).

En lo que respecta a la sensibilidad, ya hemos incidido en la medición por dBf, que es potencia útil en la antena y por lo tanto más concreta que una tensión, ya que puede variar su valor según sea en carga o en vacío, cosa que ocurre con dBf. Así por ejemplo, 65 dBf son equivalentes a 1950 μV en

un generador de 300 Ω en vacío o bien 980 μV cuando está cargado con una antena ficticia de 300 Ω. Por lo tanto es mucho más preciso hablar de potencia expresada en dBf que tensión en μV (figura 56).

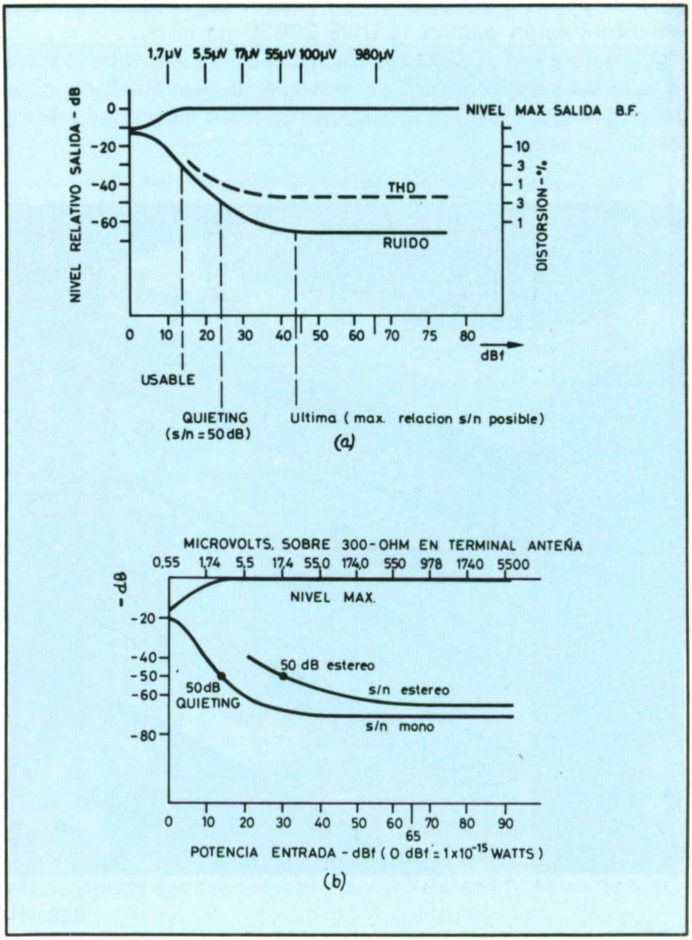


Figura 56. a) La equivalencia entre dBf y μV es con 300 ohmios y cargado. Podemos observar las nuevas definiciones de usable «quieting» y última sensibilidad para una recepción monofónica; b) Ejemplo de la variación entre estéreo y mono referido a sensibilidad «quieting»; o sea, la que obtiene del sintonizador una relación señal/ruido de 50 dB.

También define mejor el concepto de señal útil para alta fidelidad con 50 dB, en contra de los 20, 27 ó 30 dB que se venían utilizando. No tiene ningún sentido buscar 1 μV ó

menos de sensibilidad si tenemos un ruido de 15 ó 20 dB que será inconcebible en una audición confortable.

Otra característica realmente importante es la respuesta en frecuencia que se ha ampliado mucho, recuérdese de 40 Hz a 12.500 Hz en DIN ó NFC a 30 Hz y 15 kHz en IHF-T-200.

En cuanto a la distorsión, se amplía el número de frecuencias y se mide con una modulación del 100 %. Es mucho más real y práctico., Se introduce la medida en intermodulación, restringiéndose la frecuencia superior en estéreo.



Receptor AM/FM de Sony. Una pequeña maravilla de la tecnología. Sus dimensiones son menores que las de una tarjeta de crédito.

Todas las medidas de selectividad: captura, rechazos de canal alterno y adyacente, espurias, etc., son conceptos nuevos respecto a la DIN ó NFC.

También se introducen modificaciones en el apartado de estéreo, en separación de canales y respuesta en frecuencia, así como en rechazo de subportadora y SCA.

En definitiva creemos que actualmente la norma que puede darnos una medida más precisa del nivel de calidad de un sintonizador es la IHF de 1978.

	DIN 45.500	NFC 97.210	IHF-T-200
Respuesta en frecuencia	±3 dB de 40 a 50 Hz ±1,5 dB de 50 a 6.300 Hz ±3 dB de 6 K a 12 K 5 Hz	igual DIN igual DIN igual DIN	−2 dB de 30 Hz a 15 kHz
Balance entre canales	máx. 3 dB de 250 a 6300 Hz	menos de 2 dB de 250 a 6300 Hz	menos de 1,5 dB a 30 Hz a 15 kHz
a 1 kHz distorsión armónica	con modulación ±40 kHz máx. 2 %	con modul. ±34 kHz máx. 1,5 %	para «quieting» 1 %
Separación entre canales	26 dB de 250 a 6300 Hz 14 dB de 6300 a 12.500 Hz	26 dB 20 dB	25 dB 25 dB
Relación señal/ruido	mayor 54 dB ponderada A mayor 46 dB sin ponderar	igual DIN	60 dB sin ponderar
Sensibilidad	no especifica mínimo	menor 2 μV para 27 dB	menor 3 μV para 30 dB
Rechazo AM	no especifica mínimo	mayor 30 dB	mayor 40 dB

ACRONIMOS UTILIZADOS EN ESTA LECCION

Acrónimos son las siglas de expresiones técnicas. Los anglosajones son muy dados en simplificar conceptos o frases en siglas, especialmente en el sector electrónico e informático. He aquí las que han aparecido en este libro:

— **AM** = Amplitude modulation. Modulación de amplitud.
— **BLI** = Banda lateral inferior; en inglés LSB.
— **BLS** = Banda lateral superior; en inglés USB.
— **BLU** = Banda lateral única; en inglés SSB.
— **CAF** = Control automático de frecuencia; en inglés FAC.
— **CAG** = Control automático de ganancia; en inglés GAC.
— **CAV** = Control automático de volumen; en inglés VAC.
— **CD-4** = Sistema cuadrafónico.
— **DBL** = Doble banda lateral; en inglés DSB.
— **FI** = Frecuencia intermedia; en inglés IF.
— **FM** = Modulación de frecuencia; en inglés Frecuency modulation.
— **LED** = Light emitting diode. Diodo emisor de luz.
— **OC** = Onda corta; en inglés SW.
— **OL** = Onda larga; en inglés LW.
— **OM** = Onda media; en inglés MW.
— **PLL** = Phase locked Loop. Bucle de enganche de fase.
— **s/n** = Signal/noise. Relación señal/ruido.
— **VCO** = Voltage Controlled Oscillator. Oscilador controlado por tensión.